



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.*
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Análisis de deformaciones e integridad de las sujeciones en vía para diferente separación entre traviesas

Trabajo realizado por:

Francisco Alberto Alonso Rodríguez

Dirigido:

Roberto Sañudo Ortega

María Antonia Pérez Hernando

Titulación:

Grado en Ingeniería Civil

Santander, Julio de 2021

TRABAJO FIN DE GRADO

RESUMEN

TÍTULO: ANÁLISIS DE DEFORMACIONES E INTEGRIDAD DE LAS SUJECIONES EN VÍA PARA DIFERENTE SEPARACIÓN ENTRE TRAVIESAS

AUTOR: FRANCISCO ALBERTO ALONSO RODRÍGUEZ

DIRECTORES: ROBERTO SAÑUDO ORTEGA Y MARÍA ANTONIA PÉREZ HERNANDO

CONVOCATORIA: JULIO 2021

PALABRAS CLAVE: FERROCARRILES, SUJECIONES, TRAVIESAS, SEPARACIÓN, ELEMENTOS FINITOS, TENSIÓN, DEFORMACIÓN

El presente Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo fundamental el estudio del comportamiento de los elementos de las sujeciones de una vía de ferrocarril frente a distintos espaciados entre traviesas.

Se pretende determinar un espaciado entre traviesas que suponga una reducción de costes de instalación y mantenimiento de los diferentes elementos que conforman la superestructura de vía sin comprometer la seguridad y el confort.

Como metodología se utiliza una modelización 3D de un tramo de vía generado mediante CAD que se exporta a un software de cálculo a través del método de elementos finitos (ANSYS R19.2) donde se aplican características a los materiales y se establecen las interacciones entre los diferentes componentes.

Los resultados obtenidos sugieren una buena correlación entre el espaciado entre traviesas y las deformaciones. No obstante, parece conveniente realizar un estudio más detallado.

En general se observa que las solicitaciones a las que se someten los elementos de las sujeciones se mantienen en todo momento por debajo de las máximas soportadas según sus características.

Posteriores ensayos en laboratorio pueden validar los resultados a partir de los resultados obtenidos de las modelizaciones en 3D.

ABSTRACT

TITLE: DEFORMATION AND INTEGRITY ANALYSIS OF RAILWAY TRACK FASTENINGS FOR DIFFERENT SLEEPERS' SPACING.

AUTHOR: FRANCISCO ALBERTO ALONSO RODRÍGUEZ

DIRECTED BY: ROBERTO SAÑUDO ORTEGA Y MARÍA ANTONIA PÉREZ HERNANDO

CALL: JUL 2021

KEYWORDS: RAILWAYS, FASTENINGSS, SLEEPERS, SPACING, FINITE ELEMENTS, STRESS, DEFORMATION,

The main objective of this Project is the study of the behaviour and integrity of the different elements that compounds the fastenings of a railway track for different distance between sleepers.

The study tries to find the optimal spacing between sleepers for a reduction in construction and maintenance costs of the different elements that compound the superstructure of the railway track considering safety and comfort parameters.

The methodology consists in a 3D model from a section of a railway track generated by CAD and then exported to a finite element calculation software (ANSYS R19.2) where the properties of the materials are applied to them and the interaction between the different components are established

The obtained results from de model suggest a good correlation between the distance between sleepers and deformations in the fastenings. However, a deeper analysis should be carried out.

The stresses from the elements of the fastenings are for all study cases below the maximum supported according to the material and elements properties.

It will be necessary to carry out laboratory tests to compare and validate the results from the 3D model.

ÍNDICE

1. Introducción.....	1
2. Objetivos del estudio	3
3. Estado del arte.....	5
3.1. Introducción a la Estructura de vía.....	5
3.2. El carril.....	7
3.3. La traviesa	10
3.4. Las sujeciones.....	13
3.5. Análisis de la separación.....	16
3.6. El espaciado entre traviesas a nivel global	19
4. Metodología.....	22
5. Descripción del software.....	27
6. Modelo numérico	29
6.1 Modelo de vía	29
6.2. Cargas estáticas	41
7. Resultados obtenidos	43
7.1. Análisis de los resultados	43
7.1.1. Elementos de la sujeción que más sufren con la variación de la distancia	43
7.1.2. Modelo de comportamiento de la sujeción en función de la separación entre traviesas	50
7.1.3. Recomendaciones.....	56
8. Conclusiones y líneas de investigación futuras	57
9. Agradecimientos.....	58
10. Referencias	59
11. Anejo de datos	62

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Sección tipo de estructura de vía.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 2 Superestructura de vía y principales elementos</i>	<i>6</i>
<i>Figura 3 Principales esfuerzos que solicitara el carril.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 4 Sección de carril Bull-Head y Vignole.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 5 Clasificación UIC para carriles Normativa Europea</i>	<i>9</i>
<i>Figura 6 Traviesas de hormigón pretensado monobloque.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 7 Inclinación de carril mediante cajado en traviesa (izquierda) y placa de asiento (derecha)</i>	<i>11</i>
<i>Figura 8 Traviesa monobloque DW de ancho UIC.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 9 Clasificación de sujeciones: Directa, Indirecta y Mixta</i>	<i>14</i>
<i>Figura 10 Elementos de la sujeción de tipo Vossloh SKL [23].....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 11 Traviesas contiguas (sin separación).....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 12 Esquema del espaciamiento entre traviesas en vía conjunta (complementario a tabla)</i>	<i>18</i>
<i>Figura 13 Metodología propuesta para el desarrollo del proyecto.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 14 Ensayos de laboratorio variando la distancia entre traviesas.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 15 Detalle sección transversal de vía para la modelización. Definición geométrica.</i>	<i>29</i>
<i>Figura 16 Detalle de traviesa monobloque de hormigón pretensado del modelo numérico</i>	<i>30</i>
<i>Figura 17 Detalle sujeción empleada del tipo Vossloh SKL.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 18 Detalle y vista en sección de carril UIC 60</i>	<i>31</i>
<i>Figura 19 Modelo simplificado de vía.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 20 Detalle de las sujeciones del modelo en el entorno CAD.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 21 Materiales definidos en el entorno de ANSYS Workbench</i>	<i>33</i>
<i>Figura 22 Sección completa en el entorno de modelado de ANSYS SpaceClaim</i>	<i>33</i>
<i>Figura 23 Detalle de las sujeciones en el entorno de modelado Mechanical de ANSYS R19.2</i>	<i>34</i>
<i>Figura 24 Capa base de subbalasto en el modelo en ANSYS Mechanical.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 25 Capa de balasto en el modelo en ANSYS Mechanical</i>	<i>34</i>
<i>Figura 26 Traviesas de hormigón en el entorno de ANSYS Mechanical.....</i>	<i>35</i>

<i>Figura 27 Pad en el entorno de ANSYS Mechanical</i>	<i>35</i>
<i>Figura 28 Codos complementarios al Pad en el entorno de ANSYS Mechanical.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 29 Clips de las sujeciones en el entorno de ANSYS Mechanical</i>	<i>36</i>
<i>Figura 30 Tirafondos de las sujeciones en el entorno de ANSYS Mechanical.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 31 Carriles en el entorno de modelado de ANSYS Mechanical</i>	<i>36</i>
<i>Figura 32 Creación de las diferentes “Named Selection” (ejemplo clips)</i>	<i>37</i>
<i>Figura 33 Mallado de la sección de vía en el entorno de modelado ANSYS Mechanical</i>	<i>37</i>
<i>Figura 34 Detalle de la malla en los elementos que forman las sujeciones: tirafondos, clips, codos y pad</i>	<i>38</i>
<i>Figura 35 Detalle de la sujeción con los materiales asignados a cada elemento en ANSYS Mechanical</i>	<i>38</i>
<i>Figura 36 Detalle contacto rueda-carril para aplicación de carga [22].....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 37 Condiciones de contorno, solicitaciones y punto de aplicación de las cargas</i>	<i>40</i>
<i>Figura 38 Modelo 3D de vía con deformaciones debidas a la gravedad y de las cargas de un eje.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 39 Diagrama de carga posición de vano.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 40 Diagrama de carga posición sobre traviesa.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 41 Detalle sujeciones más afectadas para el modelo de carga en vano (separación 900 mm)</i>	<i>45</i>
<i>Figura 42 Detalle del punto de máxima deformación en el clip interior de las sujeciones centrales (m).....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 43 Detalle del punto de máxima deformación en el pad de las sujeciones centrales (m).....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 44 Detalle del punto de máxima deformación en el codo del pad de las sujeciones centrales (m).....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 45 Detalle del punto de máxima tensión (Von Mises) en el clip interior de las sujeciones centrales (Pa).....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 46 Detalle del punto de máxima tensión (Von Mises) en el pad de las sujeciones centrales (Pa).....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 47 Detalle del punto de máxima tensión (Von Mises) en el codo del pad de las sujeciones centrales (Pa).....</i>	<i>47</i>

<i>Figura 48 Detalle sujeciones más afectadas para el modelo de carga sobre traviesa (separación 900 mm)</i>	<i>48</i>
<i>Figura 49 Detalle del punto de máxima deformación en el clip interior de la sujeción central interior (m)</i>	<i>48</i>
<i>Figura 50 Detalle del punto de máxima deformación en el clip interior de la sujeción central interior (m)</i>	<i>49</i>
<i>Figura 51 Detalle del punto de máxima deformación en el clip interior de la sujeción central interior (m)</i>	<i>49</i>
<i>Figura 52 Detalle del punto de máxima tensión (Von Mises) en el clip interior de la sujeción central interior (Pa).....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 53 Detalle del punto de máxima tensión (Von Mises) en el pad de la sujeción central interior (Pa).....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 54 Detalle del punto de máxima tensión (Von Mises) en el codo del pad de la sujeción central interior (Pa).....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 55 Gráfica Separación-Deformación de los clips de las sujeciones.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 56 Gráfica Separación-Deformación de los Pads de las sujeciones</i>	<i>51</i>
<i>Figura 57 Gráfica Separación-Deformación de los Codos de los pads de las sujeciones</i>	<i>52</i>
<i>Figura 58 Gráfica Separación-Tensión de los Clips de las sujeciones.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 59 Gráfica Separación-Tensión de los Clips de las sujeciones.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 60 Gráfica Separación-Tensión de los Clips de las sujeciones.....</i>	<i>53</i>

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Diferentes características geométricas de los tipos de traviesas más utilizados [9].</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 2 Espaciado de traviesas en una vía con juntas [15]</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 3 Distancias entre traviesas más representativas a nivel global</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 4 Propiedades de los materiales en el modelo usado en ANSYS R19.2</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 5 Tamaño de malla por elemento</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 6 Comportamiento según tipo de contacto</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 7 Resumen valores máximos de deformación en las sujeciones</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 8 Resumen valores máximos de tensión en las sujeciones</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 9 Propiedades mecánicas de los clips</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 10 Parámetros línea de tendencia para graficas de deformaciones máximas.</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 11 Parámetros línea de tendencia para graficas de tensiones máximas.</i>	<i>55</i>

1. Introducción

Este trabajo surge como una idea complementaria en base al proyecto “Distancia Optima entre Traviesas en Vías Convencionales y de Alta Velocidad” (Optimal Distance between Sleepers in Conventional and high speed TRACKs, referido con el acrónimo ODSTRACK) que se está llevando a cabo por el investigador Roberto Sañudo Ortega del Grupo SUM+LAB, en el Departamento de Transportes y Tecnología de Proyectos y Procesos en la Escuela de Ingeniería de Caminos Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria. El objetivo principal es determinar la distancia máxima de separación a la que se pueden colocar las traviesas, tanto en vía convencional como en vías de alta velocidad, bajo condiciones de seguridad. Se pretende así, optimizar los costes de construcción y mantenimiento de la infraestructura ferroviaria.

De forma adicional y como un anexo de este proyecto principal, en este trabajo de fin de grado se va a analizar cómo afectan las diferentes distancias entre traviesas a las sujeciones colocadas en la vía y si tienen valores compatibles con las especificaciones necesarias.

Para ello se van a tener en cuenta parámetros límite como los estados tensionales y deformacionales de los diferentes elementos que componen la vía, que permitan la correcta circulación del material rodante en condiciones adecuadas de confort y seguridad según se establece en la normativa española y europea.

Actualmente la separación establecida entre el eje central de dos traviesas contiguas (en zonas de vía normales, sin tener en cuenta obras de fábrica, zonas de transición, juntas...) es de 0,6 metros (600 mm); un valor que se lleva usando desde el inicio del ferrocarril y que ha llegado hasta la actualidad. Son muy pocos los estudios que se centran en este tema, es por esto por lo que se decide tratarlo, ya que es posible obtener grandes beneficios económicos con el simple hecho de aumentar la separación a 0,7 metros teniendo en cuenta que las obras lineales de ferrocarril cuentan con centenares de kilómetros de vía.

El proyecto principal y de referencia ODSTRACK cuenta con un primer estudio realizado mediante un modelo de dos dimensiones en el que se han analizado las tensiones y desplazamientos que se dan en los diferentes elementos que componen la vía al realizar un cálculo dinámico sobre un modelo de vía simplificado. El objetivo actual de este proyecto es el modelizado de un tramo de vía lo más ajustado a la realidad posible en tres dimensiones sobre el que poder ir cambiando el espaciado de las traviesas mientras se aplican las cargas correspondientes a un tren de alta velocidad.

Algunos estudios previos han revelado las distintas distancias a las que teóricamente se podrían colocar las traviesas teniendo en cuenta la integridad estructural y la rentabilidad económica. Por otra parte, ha sido posible recopilar información sobre la separación establecida en los diferentes lugares del mundo.

- **Rentabilidad económica:** la separación varía entre 0,6 metros y 1,9 metros. Únicamente se tiene en cuenta el tema económico obteniendo así el mayor beneficio posible.
- **Colocación en vía:** se han encontrado vías en las que el espaciado entre traviesas va desde 0,25 metros hasta 1 metro; obviamente en este tema influye mucho a qué tipo de tráfico están dedicadas las vías y la intensidad que deben soportar.
- **Integridad estructural:** es el estudio más restrictivo en cuanto al aumento de separación de la distancia entre traviesas, y por lo tanto el que se va a tener en cuenta. Las distancias admisibles oscilan entre 0,6 metros a 0,9 metros.

2. Objetivos del estudio

El objetivo principal del proyecto “ODSTRACK” es el estudio de la influencia de la separación entre traviesas en relación con el correcto funcionamiento y rendimiento de la vía. Se va a tratar de conseguir aumentar la distancia entre traviesas manteniendo las condiciones de seguridad y confort que garanticen la integridad de la estructura de la vía sin aumentar los costes de mantenimiento y renovación.

Se ha propuesto un análisis con modelos numéricos con elementos finitos dinámicos en dos dimensiones y un estudio en un modelo numérico en tres dimensiones con elementos finitos. Los objetivos más importantes del proyecto pueden resumirse en:

- Objetivo 1: El principal objetivo del proyecto “ODSTRACK” se basa en encontrar la distancia óptima entre traviesas bajo condiciones de seguridad y rentabilidad económica.
- Objetivo 2: Desarrollo de un modelo numérico de elementos finitos en dos y tres dimensiones de una sección de vía aumentando la distancia de espaciado entre traviesas progresivamente.
- Objetivo 3: Proponer y diseñar los casos de estudio para las distintas distancias de separación entre traviesas. Se analizarán varios casos para poder garantizar la seguridad y resistencia de la vía.
- Objetivo 4: Obtener un modelo numérico preciso y calibrado para explicar el comportamiento de la vía cuando soporte las cargas con las diferentes distancias de espaciado entre traviesas.
- Objetivo 5: Realizar ensayos de laboratorio en traviesas utilizando distintas separaciones entre ellas: análisis estático, análisis dinámico y análisis de fatiga y vibración sobre balasto (estudio vibracional de la vía). Con estos ensayos se pretende observar cómo afectan los diferentes espaciados entre traviesas a la flexión de los carriles en las zonas donde no están apoyados y las vibraciones inducidas que se generan debido al paso de las cargas del material rodante.
- Objetivo 6: Encontrar una correlación numérica entre los ensayos de laboratorio y los modelos numéricos: análisis y comparación de resultados estableciendo con ello un modelo de correlación.
- Objetivo 7: Se va a realizar un análisis económico del beneficio que se puede obtener basándose en el incremento del espaciado entre traviesas. Se buscará la optimización económica de la distancia de separación entre apoyos sin comprometer la funcionalidad.

- Objetivo 8: Se llevará a cabo un estudio a medio y largo plazo de los efectos y consecuencias de incrementar el espaciado entre traviesas en la vía.

El ahorro de materiales en la construcción está estrechamente ligado con un incremento en el rendimiento durante la construcción de vía. Esto está relacionado indirectamente con el ahorro de energía, que lleva consigo una reducción de las emisiones de CO₂, ya que un menor tiempo de construcción se traduce en un tiempo de uso menor de la maquinaria en vía. Como consecuencia la huella de carbono del proyecto se ve reducida. Esto se puede considerar además como un objetivo adicional de importancia considerable. A modo de resumen, los objetivos tratan de conseguir un modo de transporte con una mayor eficiencia, seguridad y siendo más respetuoso con el medio ambiente.

En este trabajo de fin de grado se va a estudiar de forma más detallada y como apoyo al proyecto ODSTRACK la integridad estructural de los elementos que forman las sujeciones de la vía teniendo en cuenta también condiciones de seguridad y valores máximos tanto de tensión como de deformación, manteniendo siempre parámetros admisibles.

Las sujeciones que se van a usar son del tipo Vossloh SKL (habitualmente las más utilizadas), compuestas por los siguientes elementos: pad, codos de los pads, clips, tirafondos y vainas. Se comentarán de forma más detallada en los siguientes puntos.

Para llevar a cabo este estudio, la obtención y el análisis de los datos se va a trabajar con un modelo numérico de elementos finitos en tres dimensiones. A continuación, se detallan los principales objetivos del trabajo de fin de grado:

- Objetivo 1: Obtención del intervalo de trabajo para el espaciado entre traviesas a partir del proyecto principal ODSTRACK. Se estudiarán varios casos.
- Objetivo 2: Desarrollo de un modelo numérico de elementos finitos en tres dimensiones de una sección de vía aumentando la distancia de espaciado entre traviesas progresivamente.
- Objetivo 3: Diseño de un modelo en tres dimensiones, preciso, que permita apreciar el comportamiento de la estructura de vía, más concretamente en las sujeciones, bajo cargas y diferente espaciado entre apoyos.
- Objetivo 4: Obtención de una conclusión sobre la viabilidad del espaciado entre traviesas en función del estudio realizado, centrado principalmente en los elementos de sujeción.
- Objetivo 5: Establecer unas recomendaciones sobre el uso de la sujeción en función de la separación de traviesas estudiada.

3. Estado del arte

3.1. Introducción a la Estructura de vía

Para introducir de forma correcta las traviesas y el estudio sobre el incremento de la separación entre las mismas, en este trabajo se va a comenzar con una definición del elemento, explicación de su función dentro de la estructura de vía general.

Como definición general podemos hablar de una estructura de vía como una infraestructura de obra lineal dentro del ámbito de la Ingeniería Civil. Al igual que cualquier otra obra lineal, ya sea de carretera o ferrocarril (como es el caso), se divide en dos partes principales: la infraestructura y la superestructura. La infraestructura se compone de todas las capas inferiores sobre las que descansa la banqueta de balasto y todos los elementos superiores a ella; la superestructura está formada por la parte visible de la estructura de vía y se encuentra directamente relacionada y en contacto con el material rodante.

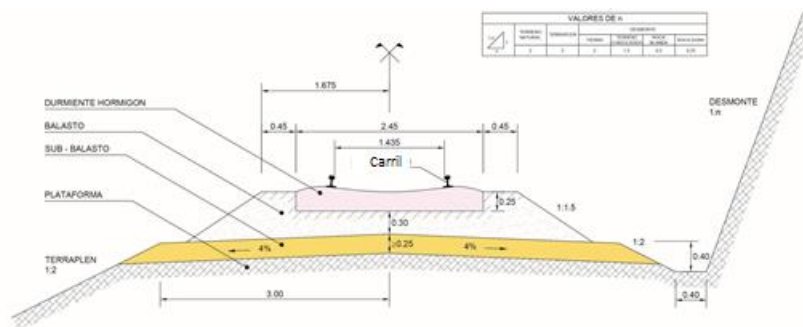


Figura 1 Sección tipo de estructura de vía

A continuación, se van a definir las diferentes partes que componen la superestructura e infraestructura de una sección de vía tipo [4,6]:

Podemos definir la superestructura con los siguientes elementos enumerándolos de forma descendente, tomando como referencia el contacto rueda-carril, dos filas de carriles, traviesas y balasto. Hay que añadir el pequeño material o accesorios de vía como placas, bridas, tirafondos, etc.

- El **carril** es el elemento resistente que soporta directamente las cargas de las ruedas. Tiene dos funciones principales: en primer lugar, sirve de sustento para las cargas transmitidas por el material rodante y su segunda función es la de guiado del vehículo, gracias a las pestañas y forma de las ruedas.
- Las **sujeciones** tienen como función principal la fijación del carril en una posición estable sobre las traviesas; se ven sometidos a grandes esfuerzos y muy variables debido a los efectos de lazo de los vehículos.

- Las **traviesas** tienen la función de mantener la separación de los carriles, arriostrarlos y transmitir los esfuerzos que soportan los carriles a la capa inferior sobre la que reposan, el balasto.
- El **balasto** tiene como función transmitir y repartir sobre la plataforma lo más uniformemente posibles las cargas del material rodante y evacuar los rápidamente las aguas de lluvia del asiento de las traviesas, arriostrando a su vez las traviesas por rozamiento para evitando así el desplazamiento de la vía.



Figura 2 Superestructura de vía y principales elementos

La infraestructura, como ya se ha comentado, está formada por la plataforma y por la parte no visible de la vía que queda directamente en contacto con el terreno. Los elementos que la forman dependen de las condiciones del terreno natural existente, pero comúnmente está compuesta por los siguientes:

- La **capa de forma** se interpone entre la parte superior del terraplén, pedraplén, o en su caso del desmonte, y la capa de subbalasto. [1]
- La **subbase** forma parte de las capas de asiento junto con el balasto. Se colocan para asegurar el buen comportamiento de la vía en base a su rigidez, alineación, nivelación y drenaje. [2]
- Los **geotextiles** son elementos que actúan como separador, filtro o protector interpuesto entre un relleno (terraplén, pedraplén, o escollera) y el terreno, a fin de evitar la contaminación o la pérdida de finos, permitiendo al mismo tiempo el paso del agua. Otra aplicación del geotextil está basada en su capacidad de filtro, dejando pasar el agua reteniendo finos.
- El **terreno natural** se trata de la propia topografía del terreno que se modifica para obtener el perfil adecuado sobre el que colocar las capas superiores. Se trata de la capa más inferior.

Una vez enumerados los principales elementos de una vía se puede decir que estamos ante una estructura muy compleja por la cantidad de elementos que la forman y la importancia que tiene cada uno de ellos.

Como cualquier otra obra de ingeniería civil se diseña para que su integridad estructural esté garantizada en condiciones de seguridad y comodidad a pesar de las cargas que debe soportar y el paso del tiempo.

A continuación, se describen en profundidad los elementos de la superestructura de vía.

3.2. El carril

En sus inicios los carriles estaban formados por piedra cuyo único fin era reducir el rozamiento de rodadura. Los carriles fueron evolucionando hasta llegar a la utilización de metal para su fabricación.

Los primeros carriles de metálicos fueron de hierro fundido, especialmente frágiles, se sustituyeron por los de hierro laminado que eran más tenaces, pero no cumplían por completo todas las características necesarias para soportar el aumento de las cargas por eje del material rodante y el incremento de las velocidades. Se desgastaban con facilidad. La aparición del carril de acero supuso una revolución y ha llegado hasta nuestros días debido a sus condiciones de resistencia tanto a esfuerzos como a desgaste.

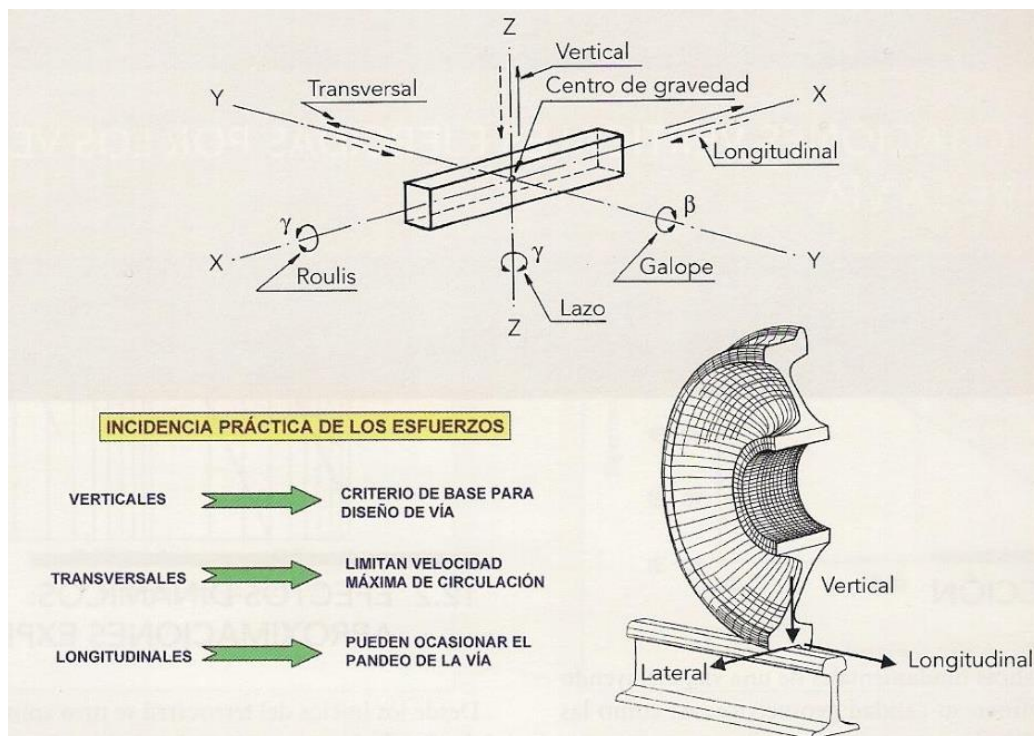


Figura 3 Principales esfuerzos que solicitan al carril

La misión principal de los carriles es resistir los esfuerzos que se producen entre la vía y los vehículos que circulan por ella, ya que estos últimos ejercen esfuerzos estáticos y dinámicos en tres direcciones:

- **Longitudinales:** principalmente se producen por las aceleraciones y frenadas de los trenes y por la variación térmica. No son decisivos a la hora de dimensionar una vía salvo en ciertas obras de fábrica.
- **Verticales:** por lo general quedan dentro del límite elástico de la vía por lo que no suponen un problema grave.
- **Transversales:** se trata del tipo de esfuerzos a tener en cuenta. Pueden producir fácilmente deformaciones permanentes en la vía ya que el límite elástico es inferior en ese sentido. Son las solicitaciones más restrictivas.

Los carriles, además de soportar y transmitir los esfuerzos al resto de elementos que componen la estructura de vía también tienen otras funciones. La forma característica que tiene su cabeza y a las pestañas con las que cuentan las ruedas de los trenes, sirven para guiar al vehículo. Es importante vigilar el desgaste que se produce entre ellas ya que marcará la vida útil del carril.

Los carriles son elementos fundamentales de la estructura de vía, en particular del camino de rodadura por lo que deben ser cuidadosamente estudiados tanto desde el punto de vista económico como de la seguridad. Hasta la aparición de las traviesas monobloc de hormigón se trataba de la partida con uno de los costes más elevados de toda la infraestructura ferroviaria.

En cuanto a la forma de los carriles, hoy en día se utilizan carriles con secciones constantes a lo largo de toda su longitud. La sección de un carril basa su geometría en la de una viga convencional, ya que su función es la de soportar cargas verticales. Es por esto, que la forma que más conviene es la de doble T. Se debe tener en cuenta su segunda función, servir de guía, por lo que a esa sección en forma de doble T hay que añadirle una forma adecuada a la cabeza del carril.

Como muchos otros elementos a lo largo de la historia del ferrocarril han ido evolucionando y se han mantenido los más eficaces. En este caso, los carriles que aún se utilizan son el carril bull-head (o Stephenson) y el Vignole.

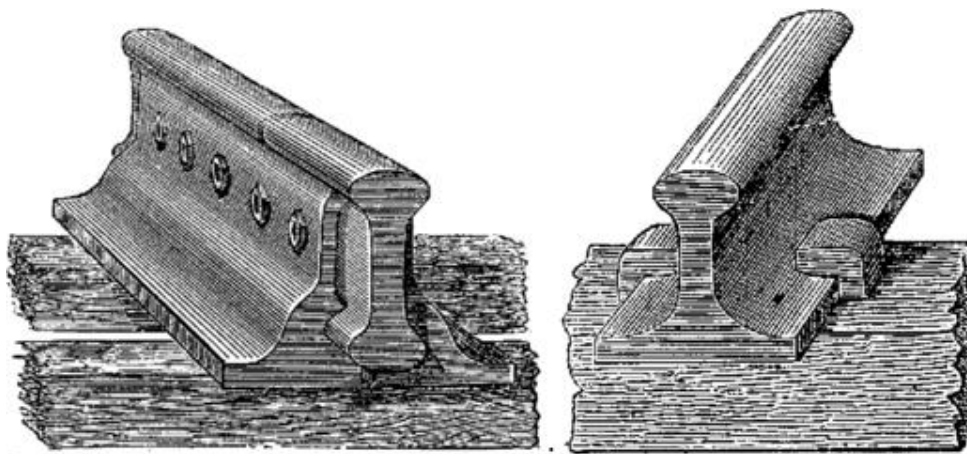


Figura 4 Sección de carril Bull-Head y Vignole

Actualmente el carril tipo Bull-Head, a pesar de contar con ventajas sobre el Vignole ha caído completamente en desuso y solo se puede encontrar en vías antiguas. El principal motivo del abandono de este tipo de carril ha sido el elevado coste que suponía la fabricación del cojinete donde se colocaba el carril y la dificultad para mantener la alineación de la vía.

El carril de estudio será, por lo tanto, el carril de patín o Vignole, compuesto por tres partes claramente diferenciadas: cabeza, alma y patín.

- **Cabeza del carril:** se trata de la parte que más desgaste sufre ya que es la zona de contacto directa rueda-carril. Se debe proporcionar una altura y un ancho de la cabeza teniendo en cuenta el orden de magnitud de desgaste que va a sufrir en su vida útil de forma que no se agote la sección útil antes de tiempo. Tanto a la cara superior como a las laterales se les da un bombeo y una inclinación característica que ayude a corregir defectos como rebabas que puedan surgir en el carril por el paso de las cargas. Esta inclinación también ayuda a contrarrestar los movimientos de lazo y mantener el tren en la posición correcta.
- **Alma del carril:** sirve de unión entre la cabeza y el patín y su espesor se dimensiona en función de los esfuerzos cortantes a los que se va a ver sometida. El punto que soporta un esfuerzo mayor se encuentra en el plano que pasa por la fibra neutra. Cabe destacar que las paredes del alma no son completamente verticales de forma que en su unión con el patín tiene mayor sección. Todas las uniones entre el alma, la cabeza y el patín se realizan mediante uniones curvas evitando aristas vivas evitando así zonas de concentración de tensiones.
- **El patín:** esta parte del carril se caracteriza por la forma y dimensión de sus alas. Cuanto más ancha sea la base del carril mayor será la rigidez en el plano horizontal. Contará también con una mayor superficie de apoyo lo que permite prescindir de placas de asiento metálicas y garantizar que el carril no vuelca por la acción de las cargas.

Tipo de rail	Norma	Dimensiones mm					Sección S	Masa m
		H	B	C	D	E	cm²	kg/m
Norma Europea								
RN 45	UNE 25122	142,00	130,00	66,00	40,50	15,00	57,05	44,79
45E1 (BS 90A)	EN 13674 - 4	142,80	127,00	66,60	46,00	13,80	57,45	45,10
46E2 (U33)	EN 13674 - 1	145,00	134,00	62,00	47,00	15,00	58,04	46,27
49E1 (S49)	EN 13674 - 1	149,00	125,00	67,00	51,50	14,00	62,92	49,39
49E5	DBS 918 254-1	149,00	125,00	67,00	51,50	14,00	62,59	49,13
50E6 (U50)	EN 13674 - 1	153,00	140,00	65,00	49,00	15,50	64,84	50,90
54E1 (UIC54)	EN 13674 - 1	159,00	140,00	70,00	49,40	16,00	69,77	54,77
54E2 (UIC54E)	EN 13674 - 1	161,00	125,00	67,00	51,40	16,00	68,56	53,82
54E3 (S54)	EN 13674 - 1	154,00	125,00	67,00	55,00	16,00	69,52	54,57
54E4	DBS 918 254-1	154,00	125,00	67,00	55,00	16,00	69,19	54,31
60E1 (UIC60)	EN 13674 - 1	172,00	150,00	72,00	51,00	16,50	76,70	60,21
60E2	EN 13674 - 1	172,00	150,00	72,00	51,00	16,50	76,48	60,03

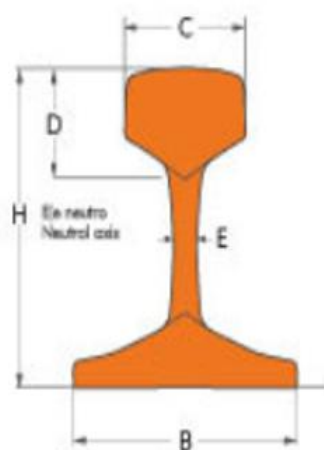


Figura 5 Clasificación UIC para carriles Normativa Europea

3.3. La traviesa

Las traviesas son elementos prismáticos que se sitúan en dirección transversal al eje de la vía sobre los que se colocan los carriles y constituyen, a través de la sujeción, el nexo o elemento de unión entre el carril y el balasto.



Figura 6 Traviesas de hormigón pretensado monobloque

Inicialmente en el ferrocarril se empleaban bloques de piedra como soporte de los carriles. El problema principal de este método era la imposibilidad de mantener la separación entre carriles constante a lo largo de la vía surgiendo así el concepto de traviesa. Las primeras traviesas se realizaron en madera por razones económicas. Se buscaban materiales aptos para la construcción que soportaran los efectos del tiempo, el tráfico y la climatología. Se han realizado multitud de estudios tratando de conseguir alargar la vida útil de estas traviesas llegando a la conclusión de que la mejor opción sería el uso de nuevos materiales sustitutivos de la madera como el acero, la fundición de hierro y el hormigón armado. Estos materiales tienen como características principales la flexibilidad, junto a la resistencia a fatiga y al choque.

Entre las principales funciones de las traviesas se destacan las siguientes [5]:

- 1) **Transmitir y repartir las cargas** que ejerce el material móvil sobre el carril al balasto a través de su superficie de apoyo. Las ruedas de los ferrocarriles al tener una superficie de contacto muy pequeña (contacto rueda-carril) hace que se generen tensiones muy altas. La traviesa reduce estas tensiones y las transmite hasta el balasto con unos valores más moderados y asequibles para las capas inferiores reduciendo así la deformación que podría generar las cargas directas.
- 2) **Asegurar el ancho de vía** arriostrando los carriles. Este problema viene dado principalmente por el continuo golpeteo que ejercen las pestañas de las ruedas sobre la cabeza de los carriles debido al movimiento de lazo que sufre el material móvil.

- 3) **Inclinar el carril** hacia el interior, hacia la zona central de la traviesa. Esta condición viene dada por la geometría de las llantas troncocónicas del material rodante que ayudan a compensar la tendencia al vuelco. Esta inclinación, que en la zona europea suele ser de 1/20 en los carriles de tipo Vignole, se puede conseguir realizando un cajeado en la propia traviesa o utilizando una placa de asiento que genere esta inclinación.

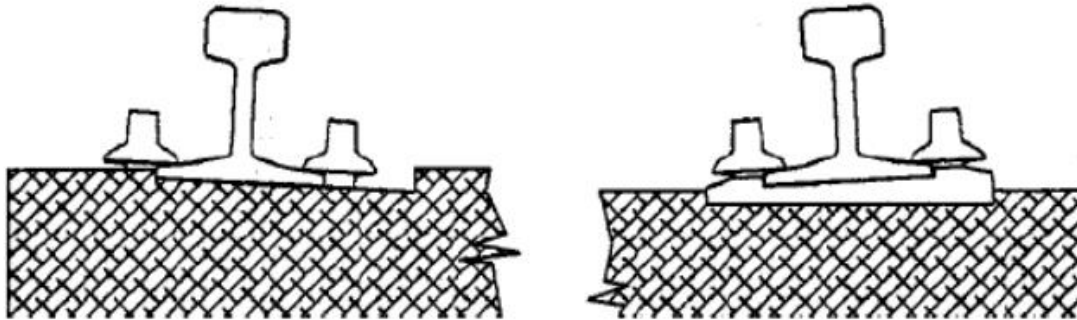


Figura 7 Inclinación de carril mediante cajeado en traviesa (izquierda) y placa de asiento (derecha)

La traviesa debe mantener la estabilidad de la vía, tanto en el plano horizontal (longitudinal y transversalmente) como en el vertical, frente a los esfuerzos estáticos procedentes del peso propio y a las variaciones térmicas, y frente a los dinámicos debidos al paso de los trenes. En el caso de que la línea posea circuitos de señalización, la traviesa deberá aislar eléctricamente los dos hilos del carril.

Por lo que respecta a la estabilidad de la vía, las dimensiones a considerar de la traviesa son:

- Estabilidad en el plano vertical: longitud y anchura.
- Estabilidad en el plano lateral: anchura, altura y peso.
- Estabilidad en el plano longitudinal: las tres dimensiones y el peso

Las traviesas más utilizadas hoy en día son las de hormigón armado que surgieron a partir de una idea de Monnier, inventor del hormigón armado, quien propuso su diseño y fabricación. Este interés por encontrar un sustituto a la madera surge a partir del agotamiento de los bosques y, como consecuencia de esto, por un crecimiento en el coste de la madera. Esto hizo, que a pesar de los primeros resultados negativos de los ensayos con traviesas de hormigón, se mantuviera el interés hacia este material. La técnica del hormigón pretensado es la que da el impulso necesario para la implantación de esta nueva traviesa.

El análisis que se va a realizar sobre estos elementos se llevará a cabo desde dos puntos de vista, teniendo en cuenta la parte estructural y la parte económica:

- **Técnico y estructural:** las traviesas, debido a su posición y función de transmisión de esfuerzos del carril al terreno, se ven afectadas por las cargas del material rodante. No solo transmiten las cargas a las capas inferiores, sino que también mantiene la inclinación del carril y el ancho de vía a lo largo del recorrido.
- **Económico:** dado el elevado número de traviesas en la red ferroviaria, se deben tener en cuenta los costes de construcción y mantenimiento. El número de traviesas en la vía viene dado por el espaciado entre ellas, por lo que se puede establecer una clara relación con la importancia económica. Podemos decir que el costo asociado con la cantidad de traviesas es inversamente proporcional a la separación entre ellas: a mayor separación menor coste.

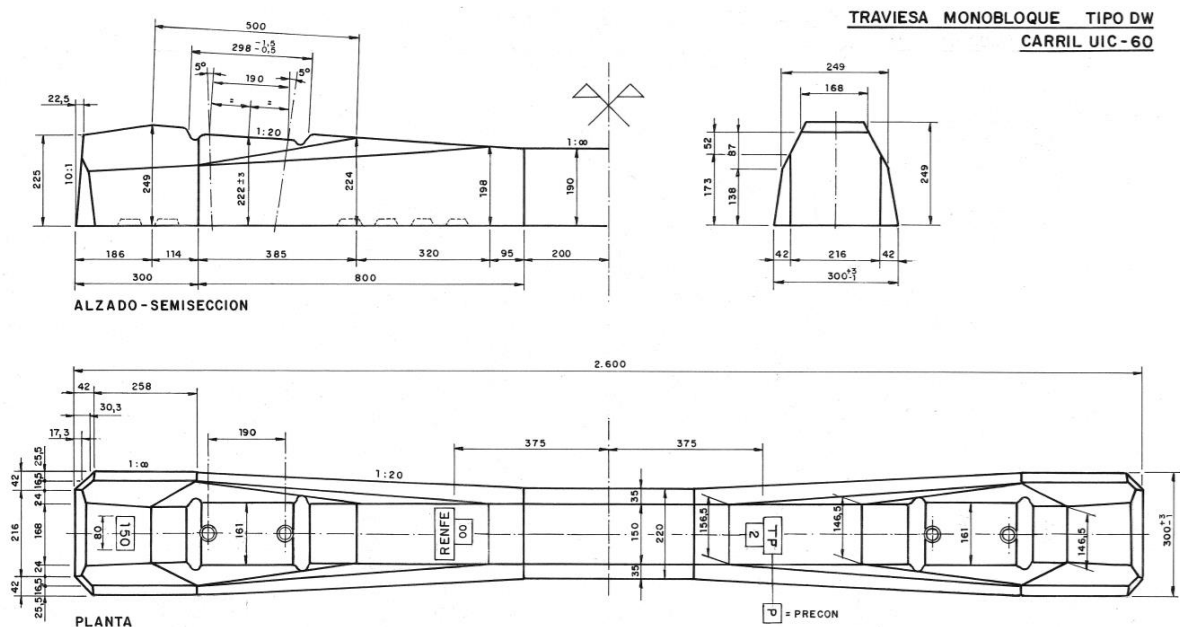


Figura 8 Travesía monobloque DW de ancho UIC

La forma y dimensiones que tienen las traviesas hoy en día se deben fundamentalmente a los dos aspectos que se acaban de comentar. La restricción económica lleva a una limitación en la sección transversal de la traviesa de forma que en la zona central se tiende a reducir considerablemente su dimensión. Las diversas formas de sección están, por lo general, normalizadas por la UIC exigiendo que la cara inferior sea totalmente plana, las laterales sensiblemente perpendiculares a ella y la superior esté formada por zonas planas horizontales en el área de apoyo de los carriles. Si esto último no fuera posible, las traviesas deben contar con un cajeado adecuado. Se puede decir que la forma general de una traviesa es más o menos paralelepípedica. La Especificación Técnica de la UIC exige como anchura de la cara inferior de 0,26 a 0,22 m de altura de 0,16 a 0,13 m y para las zonas citadas de la cara superior, de 0,20 a 0,13 m.

Tabla 1 Diferentes características geométricas de los tipos de traviesas más utilizados [9].

Tipo de Traviesa	Longitud (m)	Peso (kg)	Anchura máx. en base (mm)	Altura sección bajo eje carril (mm)	Altura en sección central (mm)	Altura de la traviesa en el extremo (mm)	Inclinación plano apoyo carril
ADIF AI-04	2,6	320	300	242	210	230	1/20
PR-01	2,6	300	300	220	200	200	1/20
AM-05	2,75	400	300	232	210	240	1/20

3.4. Las sujeciones

Se conoce como sujeciones a los elementos que tiene la función de fijar el carril asegurando su posición estable sobre las traviesas. Para el caso de estudio, sujeciones en traviesas de hormigón, se deben prever unos periodos de servicio largos, ajustados a los de las traviesas, 40-50 años.

Como ya se ha planteado en apartados anteriores, los carriles se ven sometidos a una serie de esfuerzos complejos que dependen de diversos factores difíciles de controlar. Las fijaciones son las responsables de absorber los esfuerzos que ejerce el material rodante sobre el carril y transmitirlos a los elementos que se colocan bajo el carril hasta las capas de balasto.

El problema principal que plantean las sujeciones no es tanto encontrar una solución técnica que satisfaga las necesidades y resista los esfuerzos a los que se ve sometida si no encontrar esta solución con el menor coste posible de instalación y mantenimiento. El precio de estos elementos es de vital importancia ya que se trata de las piezas más numerosos de las que se compone la superestructura de vía. A continuación, se enumeran varias de las condiciones que deben seguirse para su diseño y fabricación:

- Deben asegurar la estabilidad de la posición de los carriles respecto al ancho de vía y al peralte bajo la acción de los esfuerzos producidos por el material rodante
- Serán lo suficientemente elásticas en el eje vertical y en el horizontal, y el apriete que generan sobre el carril se verá reducido lo mínimo posible.
- Dispondrán de una solución sencilla para la precisa colocación de los carriles admitiendo, si fuera necesario, la nivelación de la vía, pudiendo adaptarse con pequeñas modificaciones a distintos carriles.
- Su montaje debe realizarse de forma rápida y sencilla permitiendo el uso de maquinaria de alto rendimiento para su colocación.

- Se compondrán del menor número de piezas posible garantizando un peso mínimo y una construcción sencilla para que su elaboración sea lo más económica posible y se puedan llegar a producir en masa
- Tanto la instalación como el control de su estado se realizará de forma rápida y sencilla. La sustitución de las piezas deterioradas no supondrá alteración alguna de las traviesas.
- Por último, no comprometerán la resistencia y condiciones mecánicas de la traviesa.

Es posible hacer una primera clasificación de las sujeciones en función de la disposición relativa de sus elementos de anclaje. Con respecto al patín y la placa de asiento se clasifican en:

- **Directas:** en este tipo de sujeciones es un único elemento el que cumple la función de anclaje a la traviesa y sujeciones del carril. Si cuenta con placa de asiento deberá estar previamente agujereada para que este elemento pase a través de ella.
- **Indirectas:** solamente son posibles si la sujeción cuenta con una placa de asiento. Un elemento fija el carril a la placa y otro fija el carril a la traviesa.
- **Mixtas:** se trata de una combinación de ambos métodos al mismo tiempo, sujeción directa e indirecta.

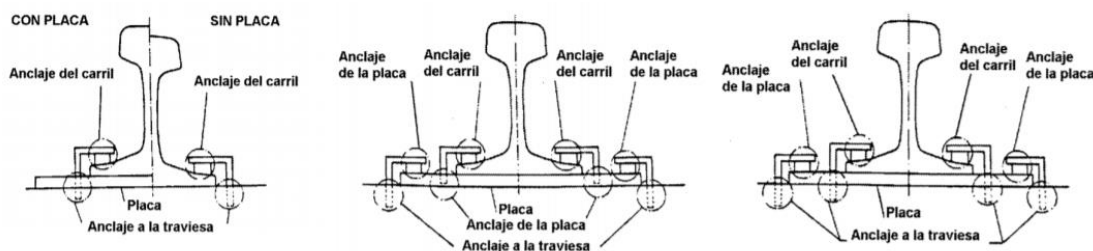


Figura 9 Clasificación de sujeciones: Directa, Indirecta y Mixta

La siguiente clasificación posible viene definida por la naturaleza de los elementos de anclaje: tipo rígido o elástico.

- Las **sujeciones de tipo rígido** se realizan mediante elementos rígidos que se introducen clavados o atornillados en la traviesa por uno de sus extremos y con el extremo superior fijan el carril contra la traviesa. Consisten, principalmente, en escarpas con forma de calvo de sección cuadrada siendo la cabeza del mismo la que sujeta el patín del carril (se introducen a martillazos) y en tirafondos de acero galvanizado cónicos o cilíndricos con una cabeza mucho mayor que el esparrago de forma que al atornillarlo sea capaz de sujetar el patín. Estas sujeciones no son objeto de estudio dentro del proyecto actual.

- Las **sujeciones de tipo elástico** se definen como aquellas en las que la fijación del carril a la traviesa se consigue por medio de un elemento que se deforma por los esfuerzos que recibe a través del carril y recupera su forma inicial una vez cesan las solicitaciones. Se trata de esfuerzos verticales. El elemento elástico cuenta con una geometría característica que le permite fijar de forma elástica el carril y la traviesa.

La manera de absorber los esfuerzos verticales descendentes es mediante el uso de una placa de asiento que por lo general se realiza en caucho. Este material solo se deforma en una dirección siempre que el alargamiento sea libre en el resto de direcciones. Es necesario diseñar adecuadamente estos elementos ya que la falta de libertad de expansión lateral se produciría un recalentamiento muy nocivo para las placas de asiento de caucho.

Cuando se trata de absorber los esfuerzos verticales ascendentes es también preciso el uso de elementos elásticos que eviten un choque violento de los elementos de la sujeción, los raíles y las traviesas una vez el peso transmitido por la rueda ha pasado y la vía recupera su estado inicial.

Podemos deducir así que los carriles cuentan con un cierto grado de libertad en cuanto a movimiento, evitando juegos y holguras entre elementos y choques. También existen desplazamientos longitudinales de los carriles con respecto a la posición de las traviesas. Este problema se resuelve con la ayuda de las sujeciones elásticas que ejercen una gran resistencia constante (apriete constante) al desplazamiento del carril longitudinalmente.

Las sujeciones elásticas surgieron con la idea de encontrar un elemento que sirviera de protección para las traviesas de hormigón armado, evitando su rápido deterioro debido al continuo paso de las cargas del material rodante. Existen varios tipos de sujeciones elásticas: de clavos elásticos, de lámina o grapa, de cuña-cojinete y de clip. Este último tipo será el utilizado para los cálculos y condiciones de estudio del presente trabajo de fin de grado.

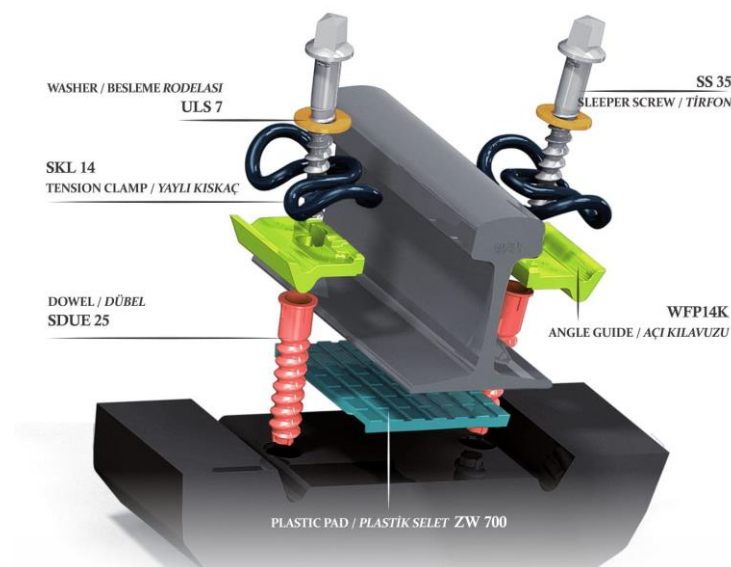


Figura 10 Elementos de la sujeción de tipo Vossloh SKL [23]

En las sujeciones elásticas de clip el elemento de sujeción trabaja a torsión o a torsión y flexión, simultáneamente. Por lo general se lleva a cabo a partir de una barra de acero de sección circular y actúa como un muelle (tensión clamp). Este elemento se aloja en un soporte (angle guide) y se deforma en el momento de montaje proporcionando así una tensión constante que fija el carril.

En la figura 10 se muestra una sujeción del tipo Vossloh SKL, que corresponde a la que se utiliza en este estudio. En ella se puede distinguir, en negro la representación del cajado de la traviesa, en color cyan la placa de asiento o pad, en verde los codos, y el clip en azul oscuro. En rosa encontramos las vainas donde se introducen los tirafondos, en gris, que ejercerán su función de fijar el patín del carril a la traviesa.

3.5. Análisis de la separación

Como ya se ha comentado son varios los factores que influyen en la separación de las traviesas. En este punto se va a tratar de establecer una relación entre esos factores y la separación entre los apoyos.

El gran desarrollo que han tenido en los últimos años los ferrocarriles de alta velocidad ha permitido incorporar elementos nuevos y más resistentes a la estructura de la vía. Se han desarrollado muchos productos para mejorar las condiciones operativas y la vida útil de los materiales, pero, en algunos casos, se han seguido métodos de trabajo que han sido inicialmente efectivos, aunque sin el desarrollo científico básico.

Debido a la importancia en el aspecto económico que suponen las traviesas con todos los elementos que las complementan (sujeciones, pads, tirafondos...), es necesario justificar la separación usada hoy en día

Actualmente existen estudios que relacionan la separación entre traviesas y los defectos producidos en el carril [10], donde se relaciona el espaciado entre apoyos y la rigidez de los pads con los defectos en el carril. Por otra parte, existen estudios sobre las dimensiones de las traviesas y la variación en su comportamiento [11] o estudios más detallados de las traviesas y su comportamiento en puntos singulares y críticos como las zonas de transición [12]. Por lo general, las administraciones ferroviarias utilizan una separación de 600 mm entre traviesas.

Algunos análisis previos relacionados con el espaciado entre traviesas se pueden encontrar en el estudio realizado por el investigador principal del proyecto [13]. En este trabajo se muestra un análisis de la separación entre traviesas desde el punto de vista técnico, seleccionando diferentes espaciados y algunas variables como el desplazamiento vertical de las traviesas, los esfuerzos bajo traviesa y los momentos flectores en el vano del carril. Las conclusiones del mismo nos llevan a valores posibles de más de 700 mm de separación.

Si tomamos como condicionante la seguridad, interesa contar con el mayor número de traviesas posible por metro lineal, ya que aporta una mayor estabilidad a la vía. El límite mínimo de separación entre apoyos viene dado por la viabilidad de realizar labores de mantenimiento en la vía como el bateo. Según la colocación actual de las traviesas con una separación de 600 mm, si contamos con que en su base tienen un ancho de 300 mm, podemos decir que la separación actual entre apoyos es el equivalente a otra traviesa.

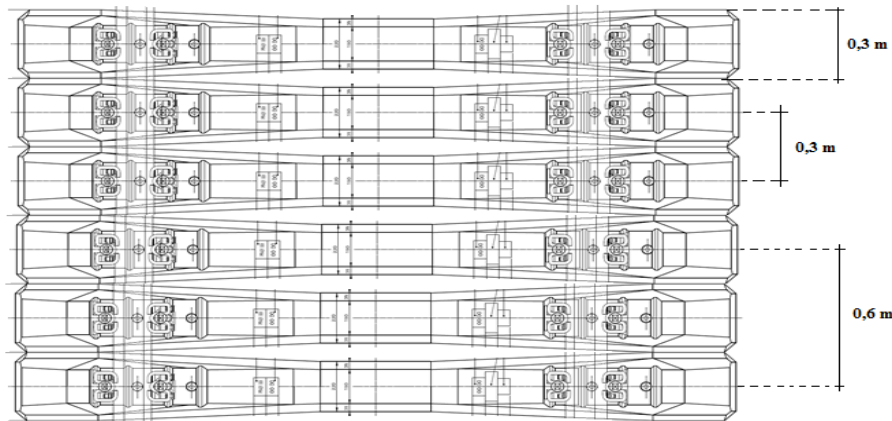


Figura 11 Traviesas contiguas (sin separación)

Si se colocan las traviesas contiguas, una junto a otra, podemos ver como el espaciado entre traviesas alternas es de 600 mm. Esta podría ser una primera explicación del porqué de esta separación. Se trataría de una regla práctica de puesta en obra. Otra teoría acerca de esta separación es la de que es la distancia óptima para que un operario pueda andar sobre las traviesas de forma cómoda, sin dar grandes zancadas ni tener que pisar el balasto.

Son muchos los factores que influye en la separación entre traviesas [14]: el tipo de carril y su resistencia, el tipo de traviesa y su geometría, el espesor de la capa de balasto, la capacidad portante de la capa de apoyo de la banqueta, las solicitaciones debido al peso de los ferrocarriles y su velocidad.

Tabla 2 Espaciado de traviesas en una vía con juntas [15]

Espaciado entre traviesas	Gran ancho (1676mm) Espaciamiento de centro a centro (mm)		Ancho métrico (1000 mm) Espaciamiento de centro a centro (mm)	
	Madera	Metal	Madera	Metal
Entre traviesas de junta (a)	300	380	250	330
Entre traviesas de junta y la primera traviesa de hombro (b)	610	610	580	580
Entre primera y segunda traviesa de hombro (c) para densidad de traviesas M+4	700 (640) *	720 (630) *	700 (620)	710 (600)
Entre traviesas intermedias (d) para densidad de traviesas M+4	840 (680)	830 (680)	820 (720)	810 (640)

Si analizamos la tabla anterior se aprecia que el distanciamiento entre apoyos depende también del material del que está compuesta la traviesa, de su posición respecto a las juntas y del ancho de vía. Otra conclusión a la que podemos llegar a partir de estos datos es que la distancia entre traviesas es distinta en los puntos cercanos a una junta de vía y simétrica con respecto a ella.

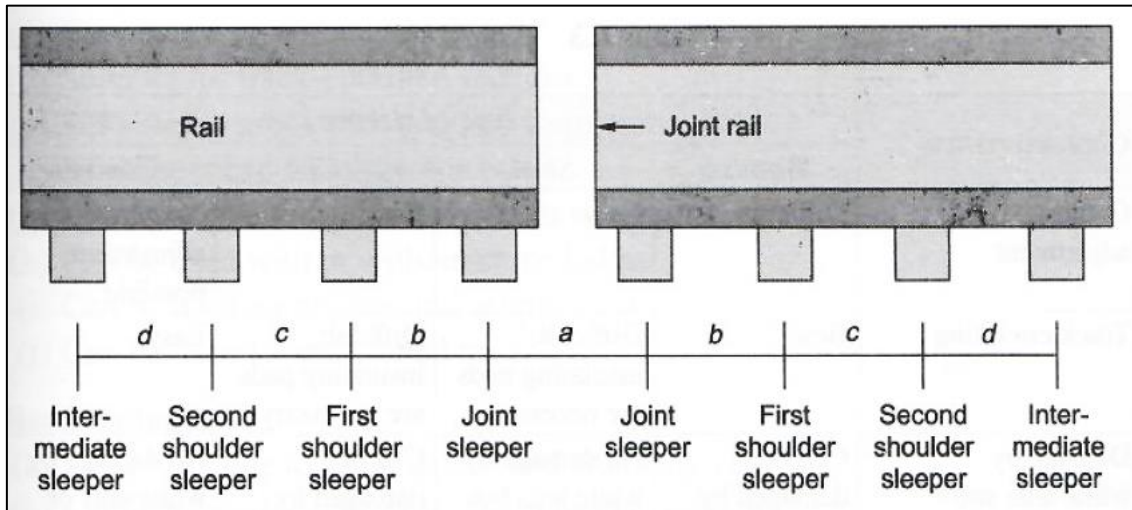


Figura 12 Esquema del espaciado entre traviesas en vía conjunta (complementario a tabla)

Si los apoyos se colocan más cerca unos de otros es obvio que los esfuerzos bajo las traviesas se ven reducidos. Sin embargo, su mantenimiento se vuelve más complejo tanto técnica como económicamente. Será necesario encontrar un punto medio entre ambos requisitos [16]. Si por el contrario intentamos separar demasiado las traviesas podemos encontrarnos con problemas de fatiga, sobre todo en ferrocarriles ligeros. El espaciado que se define por norma general para un ancho de vía internacional corresponde a una distancia de 600 mm, pudiéndose reducir en caso de contar con una subbase de mala calidad hasta los 550 mm. Por lo general, se toma un valor promedio de referencia de 1666 traviesas por kilómetro.

Otros autores [17] se centran en la correcta colocación de las traviesas embebidas en la capa de balasto y la relacionan directamente con la estabilidad longitudinal y transversal. Los valores normales son de 600 mm incrementándose hasta 750 mm en ferrocarriles ligeros [18].

También hay autores que dan valores de densidad de traviesas por kilómetro de entre 1540 y 1600 [19] y aseguran que las cargas admisibles por eje llegarían a las 30 toneladas si la separación entre traviesas se redujera a 430 mm para carriles UIC60.

El espaciado entre traviesas, así como el material del que están compuestas y su geometría son factores clave a la hora de calcular la distribución tensional de esfuerzos debida al peso de la vía [20].

Como se acaba de ver son muchos los factores a tener en cuenta y van desde la llanta hasta la plataforma de la vía, las cargas por eje, el tipo de carril y sus discontinuidades (soldaduras y juntas), el tipo de elementos de sujeción, la geometría y materiales de las traviesas, las tensiones sobre el balasto, etc. Las referencias a la separación son extensas, pero cuentan con justificaciones bastante escasas.

3.6. El espaciado entre traviesas a nivel global

Cada país ha desarrollado el sector del ferrocarril de manera muy distinta. Es por esto por lo que el espaciado entre traviesas es diferente en la gran mayoría de países y se define en función de la experiencia y del tipo de infraestructuras y superestructuras ferroviarias del que dispongan. Son muchos los factores propios de cada sistema ferroviario y, a veces, es muy distinto entre países. Esto hace que la geometría, materiales, colocación de las traviesas y demás elementos de vía varíen de manera notable.

Uno de los factores más influyentes para la construcción de las traviesas en el inicio del ferrocarril fue la disponibilidad de madera. Se dio un salto cualitativo cuando se dejó a un lado la madera y se comenzó a utilizar acero o fundición como consecuencia de la sobreexplotación de los bosques y una mayor concienciación sobre el medioambiente.

Actualmente el material predominante en las traviesas es el hormigón armado tanto pretensado como postensado y se ha extendido a todo el mundo. De forma similar ha ocurrido con el espaciado entre traviesas.

En la siguiente tabla se muestra una recopilación de los valores característicos más relevantes utilizados en los diferentes lugares del mundo junto al material más usual de fabricación [21].

Tabla 3 Distancias entre traviesas más representativas a nivel global

País	Espaciamiento usado (mm)	Material
Austria	650, 700, 710, 810, 850	Madera, metal, Hormigón
Dinamarca	650, 700, 750	Madera,
Francia	580, 625, 660, 666, 700, 800	Madera, metal, Concrete
Alemania	580, 600, 620, 625, 630, 650, 660, 666, 670, 680, 700, 760, 780, 850	Madera, concrete, acero
Irlanda	610, 760, 826	Madera, hormigón

Italia	600, 630, 640, 692, 700, 720, 725, 730, 750, 752, 770, 800, 833, 850, 860, 910	Madera, hormigón
España	500, 600, 630, 650, 660, 666, 700, 750, 770, 800	Madera, hormigón
Suecia	500, 650, 710, 750, 770, 800, 830, 865	Madera, hormigón
Suiza	550, 600, 620, 630, 640, 650, 660, 666, 670, 680, 700, 706, 715, 720, 750, 800, 820, 900, 1000	Madera, metal, hormigón
Reino Unido	600, 610, 662, 686, 712, 737, 762, 787, 800, 838, 914, 915, 1067	Madera, acero, hormigón
Canadá	460, 495, 508, 510, 520, 534, 540, 542, 555, 559, 762,	Madera
México	495, 500, 508, 533, 546, 559, 560, 572, 610, 624, 690,	Madera, hormigón
Bolivia	500, 600, 666, 800	Madera
Guyana	660, 831	Madera
Uruguay	666, 769	Madera, metal, hormigón
Venezuela	500, 690, 800, 862	Madera, hormigón
Zaire	571, 666, 714, 769,	Madera, metal
Etiopia	625, 692, 800, 818	Metal
Madagascar	666, 800	Madera, metal
Malawi	826	Madera, acero, hormigón
Marruecos	580, 858	Madera, metal, hormigón
Mozambique	666, 685, 769	Madera, acero
Sudáfrica	700, 800, 813	Madera, acero, hormigón
Sudán	770	Madera

Swazilandia	762	Madera
Sri Lanka	694, 766	Madera
India	670, 680, 840,	Madera, acero, hormigón
Indonesia	680, 800	Madera, metal
Japón	380, 500, 555, 575, 580, 595, 620, 625, 650, 660, 671, 690, 700, 710, 750, 770	Madera, hormigón
Nepal	860, 925	Madera
Siria	795, 868	Metal
Australia	495, 533, 592, 610, 622, 666, 672, 762, 763, 661, 720, 787	Madera, acero, hormigón

Tras analizar la tabla encontramos valores muy dispares incluso dentro del mismo país (espaciados inferiores a 600 mm y distancias cercanas al metro de separación entre apoyos).

Algunos de los motivos del uso de diferente espaciado entre traviesas son:

- Factores relacionados con el vehículo y la carga por eje. Se deben principalmente al tipo de tráfico que va a soportar la vía, el número de circulaciones diarias y la velocidad de los diferentes ferrocarriles que la utilizan.
- Factores relacionados con los elementos y disposición de los mismos en la vía. Influye el tipo de carril y para qué cargas está dimensionado, si se trata de una vía soldada o no, la posición de las soldaduras y de las juntas, el tipo y posición de las sujeciones, el ancho de vía, ...
- Factores relacionados con el trazado. Si el tramo es recto, se trata de una curva, o una zona de transición, el número de estructuras a atravesar a lo largo del trazado, ...
- Factores relacionados con la transmisión y vibraciones.

4. Metodología

En el proyecto principal ODSTRACK se va a estudiar y analizar el comportamiento de todos los elementos de la superestructura de vía para diferentes distancias entre los elementos de apoyo, las traviesas, en vías de balasto convencionales. De forma más concreta y para complementar el estudio principal, este trabajo de fin de grado se va a centrar en las sujeciones que componen la vía. Con la metodología que se expone a continuación se pretende conocer el rendimiento y eficiencia de la estructura de vía bajo los diferentes espaciados entre traviesas.

Además, se quiere determinar si los resultados obtenidos son aplicables a vías ya existentes y de nueva construcción. A continuación, se describe la metodología propuesta para este estudio teórico-práctico. Después de estudiar en la bibliografía casos existentes o experiencias similares y agrupar sus conclusiones, el siguiente paso es diseñar mediante elementos finitos un tramo de vía en dos dimensiones (ya realizado en la primera parte del proyecto ODSTRACK) y tres dimensiones.

Deben quedar bien definidas, antes de realizar el modelo numérico, las variables del estudio como son las tensiones verticales, los desplazamientos verticales o la rigidez de la vía.

Se realizará un estudio tensional y deformacional (desplazamientos verticales) de todos los elementos que forman la superestructura de la vía, prestando especial atención en las componentes de las sujeciones (clips, codos y pads). El estudio se llevará a cabo para diferentes espaciados entre traviesas colocadas sobre balasto.

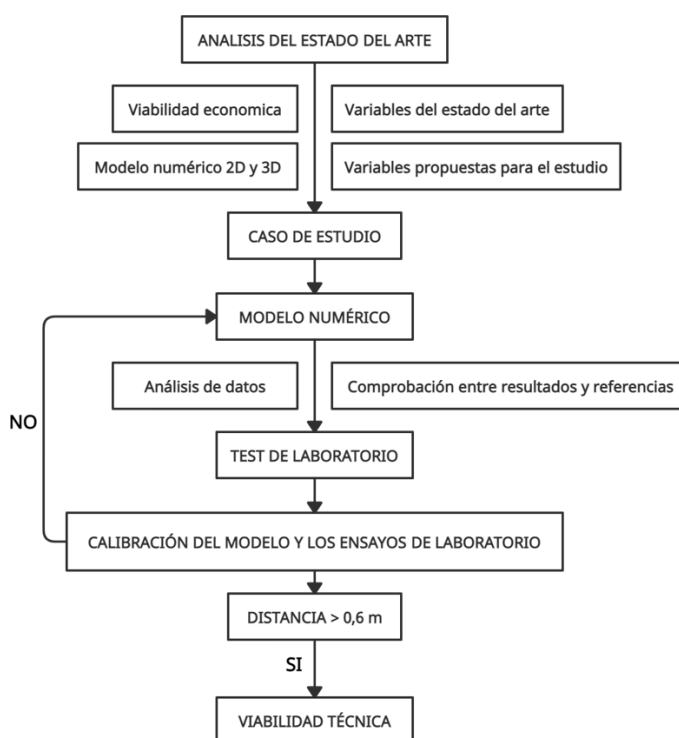


Figura 13 Metodología propuesta para el desarrollo del proyecto

Siguiendo este esquema se pretende ver la influencia de la distancia entre traviesas en los diferentes elementos que componen la estructura de vía. Se va a llevar a cabo un estudio estático en un modelo numérico que podrá ser contrastado posteriormente con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.

El objetivo final del proyecto es comprobar si es posible aumentar la separación de las traviesas en vías convencionales de balasto y sus consecuencias en el ámbito económico tanto en nueva construcción como renovación y mantenimiento de vías ya existentes. De la misma, manera un estudio a corto y largo plazo podrá garantizar un similar o posible menor coste de mantenimiento comparado con el actual plan de mantenimiento de superestructura ferroviaria. Se desarrollará una guía detallada con los nuevos métodos de diseño.

Los principales puntos en los que se basa el proyecto ODSTRACK y los pasos a seguir son los siguientes:

1. Análisis del estado del arte y recopilación de documentación ya existente relacionada con el tema

La primera etapa consistirá en una búsqueda exhaustiva sobre la bibliografía y estudios previos ya existentes relacionados con el tema. Se trata de una búsqueda que va más allá del ámbito nacional y en la que se estudiarán y analizarán las variables más importantes para conseguir caracterizar y controlar de qué forma afecta la diferencia de espaciado entre apoyos a la estructura de vía.

2. Diseño y modelización numérica del modelo de vía. Comportamiento y análisis del modelo en los casos de estudio. Obtención de soluciones óptimas.

Se realizará un modelo numérico de vía sobre balasto en dos y tres dimensiones. Este modelo se tomará como base y punto de partida para el posterior análisis numérico. Para la creación del modelo de elementos finitos en 3D se empleará el programa de elementos finitos de ANSYS.

Es necesario realizar un estudio estático y dinámico. Se estudiará cómo afecta el aumento de distancia al rendimiento de la vía y el comportamiento de todos los elementos de la superestructura de vía. Para ello se definirán las variables más importantes a estudiar: espaciado óptimo, tensión y deformación en los pads, el carril y la traviesa, tensiones en el balasto, etc.

3. Propuesta de varios casos prácticos para optimizar la distancia entre las traviesas

Tomando como base el análisis bibliográfico anterior se realizarán varios casos de estudio para incrementar la separación entre traviesas.

Se realizará un primer estudio basado en los elementos ya existentes sin modificar su posición y se incrementará la distancia buscando un máximo óptimo que permita el ahorro de apoyos (traviesas) en condiciones de seguridad

y confort para los usuarios. Entre los casos de estudio, se contempla primero el aumento de distancia sin ninguna modificación adicional de los elementos existentes. Posteriormente, se irán sumando mejoras en los materiales y dimensiones de las traviesas actuales y otros elementos de la superestructura.

4. Ensayos de laboratorio del modelo teórico y de los casos de estudio. Evolución de la resistencia de la vía

Las pruebas de laboratorio son necesarias para calibrar los modelos numéricos y crear un modelo más preciso de la superestructura de la vía. Estas pruebas de laboratorio consistirán en una carga estática y un ciclo de cargas dinámicas.

Se volverán a medir las mismas condiciones y variables del modelo numérico previamente definidas, estudiadas y analizadas en las simulaciones computacionales. Se comprobará el deterioro y la integridad de los elementos, durante y después de la aplicación de las cargas.

5. Relación entre el modelo numérico y los resultados de los ensayos de laboratorio

Con los resultados obtenidos a partir del modelo numérico y de los ensayos de laboratorio, se realizará una calibración del modelo. Una vez correlacionados, habrá un modelo definitivo que nos servirá para analizar en profundidad y precisión lo que sucede cuando aumentamos la distancia entre traviesas.

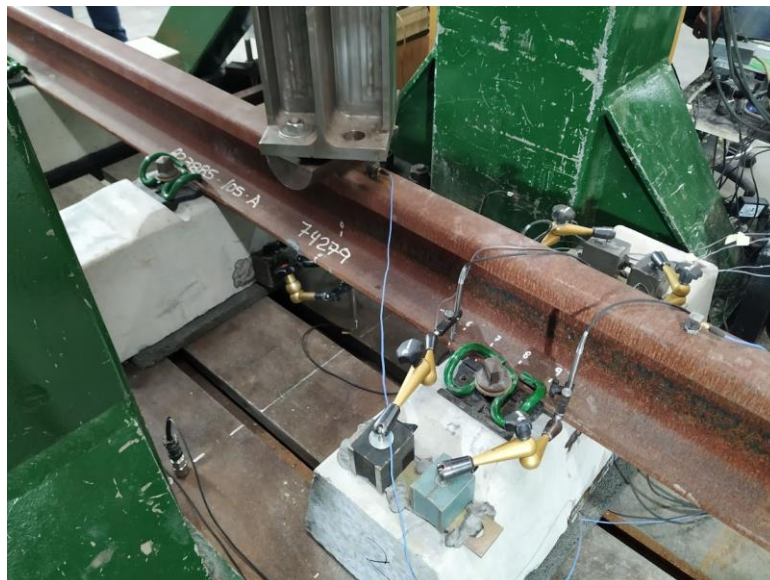


Figura 14 Ensayos de laboratorio variando la distancia entre traviesas

6. Elementos de vía a analizar y mantenimiento. Viabilidad técnica

La superestructura de las vías de ferrocarril está compuesta por un gran número de elementos. Es necesario estudiar su comportamiento y el rendimiento de la vía con todos los elementos trabajando en conjunto: pads,

sistemas de sujeción, traviesas, balasto y carriles. Todos estos elementos deben ser analizados para comprobar el correcto funcionamiento de la vía, así como su evolución y envejecimiento.

También es necesario analizar la viabilidad de reemplazar las traviesas ya colocadas en vía por las traviesas nuevas o simplemente separar las traviesas existentes una cierta distancia durante las operaciones de mantenimiento y renovación.

Los trabajos de renovación y colocación de vía influyen en su rendimiento, por lo que es importante ver cómo afecta el bateo a esta nueva configuración de elementos de la superestructura.

Para resumir la metodología, el esquema de la figura 13 muestra los pasos y procesos del proyecto general ODSTRACK. Esta metodología trata de recopilar toda la información existente de diversas fuentes (artículos, libros, sitios web, etc....). Una vez realizada esta recopilación, se crea un modelo 2D y 3D para realizar una simulación numérica. Las pruebas de laboratorio a escala real servirán para calibrar los modelos numéricos anteriores. Los ensayos de laboratorio evitarán pruebas en una vía real lo que supondría un elevado coste y una mayor dificultad. Tras crear varios casos de estudio, será posible verificar las diferentes soluciones propuestas para aumentar la distancia entre apoyos. Para finalizar el proyecto, es necesario un estudio de viabilidad técnica para llevar todos los resultados del proyecto a un estudio en vía de balasto real. A partir de los resultados obtenidos se redactarán pautas a tener en cuenta para llevar a cabo el incremento de distancia entre traviesas.

Una vez definida la metodología del proyecto principal ODSTRACK, se va a definir la estructura y en qué punto del proyecto general se ubica este trabajo de fin de grado. Actualmente, en el proyecto general ya han sido realizados los estudios previos de recopilación de datos y los cálculos de un modelo numérico en dos dimensiones.

El objetivo actual es la creación de un modelo numérico en tres dimensiones mediante el programa de elementos finitos ANSYS R19.2. Este trabajo va a centrarse en analizar el comportamiento de los elementos que componen los sistemas de sujeciones de la superestructura ferroviaria aplicando distintos espaciados entre apoyos mediante el software citado anteriormente.

Se citan a continuación los principales puntos que se van a seguir en este trabajo de fin de grado para llevar a cabo el estudio:

- 1) Análisis del estado del arte y obtención de información existente relacionada con el tema del proyecto. Se realiza una búsqueda en profundidad de todos los posibles estudios previos realizados a cerca del incremento de separación entre traviesas.

- 2) Obtención de planos y dimensiones de los elementos de estudio a partir del estado del arte. Una vez obtenida la geometría de los elementos que componen la estructura de vía se procederá a su diseño en una herramienta de tipo CAD.
- 3) Realización del modelo numérico en tres dimensiones mediante el software de elementos finitos elegido a partir de la geometría creada en el punto anterior.
- 4) Modelización de la sujeción y análisis de su comportamiento tenso-deformacional con la separación entre traviesas.
- 5) Estimación de modelos de predicción del comportamiento de la sujeción con la separación entre traviesas.
- 6) Redacción de las conclusiones obtenidas a partir de los modelos numéricos. Recomendaciones de uso de sujeciones en función de la separación entre traviesas.

5. Descripción del software

Los elementos de estudio para el proyecto general son los carriles, las traviesas, el balasto y las sujeciones. Estas últimas, las sujeciones, serán el objeto de estudio principal del trabajo de fin de grado.

Existen numerosos programas para la resolución de problemas por el método de elementos finitos ABAQUS, COSMOS, PATRAN, NASTRAN, STRUDL, CAEPIPE. Sin embargo, el software elegido para realizar el análisis en profundidad de los elementos que forman las sujeciones será el programa ANSYS en su versión R 19.2. Se trata de un software para la simulación a través de elementos finitos de varios tipos de problemas. Los más comunes en el área de la ingeniería son el análisis y cálculo estructural de elementos o estructuras, problemas de transferencia de calor, fluidos, potenciales electromagnéticos... [3]

Este programa cuenta con la posibilidad de realizar el pre-proceso, (generación de los modelos) obtención de soluciones y post-proceso (gráficos, modelo paramétrico)

Para el caso de estudio, el programa nos va a permitir modelizar tanto la superestructura como la infraestructura de vía, aplicar una serie de cargas y analizar de forma aislada los elementos que componen las sujeciones, pad, tornillo, clip, codos y vaina.

Las soluciones analíticas son todas aquellas expresiones matemáticas de las que es posible obtenerse algún tipo de incógnita determinada. Esta expresión es válida en todo el elemento estudiado, lo que incluye cualquier sección del mismo y todos los puntos que lo componen. Como consecuencia este tipo de expresiones requieren de la resolución de ecuaciones diferenciales demasiado complejas si se tienen en cuenta todas las variables que influyen en el problema real y no es posible resolverlas.

El método de elementos finitos consiste en un método numérico utilizado para la resolución de problemas de alta complejidad dentro del ámbito de la ingeniería (dificultad geométrica, dificultad de definición y cálculo de solicitaciones, y características de los materiales que forman el modelo). Por lo general, para estos problemas es imposible encontrar una solución analítica directamente de expresiones matemáticas [24].

Las soluciones analíticas son todas aquellas expresiones matemáticas de las que es posible obtenerse algún tipo de incógnita determinada. Esta expresión es válida en todo el elemento estudiado, lo que incluye cualquier sección del mismo y todos los puntos que lo componen. Como consecuencia este tipo de expresiones requieren de la resolución de ecuaciones diferenciales demasiado complejas si se tienen en cuenta todas las variables que influyen en el problema real y no es posible resolverlas.

Si por el contrario se utiliza el método de elementos finitos, el problema se resuelve mediante el planteamiento de una serie de ecuaciones algebraicas

simultáneas en vez de ser necesaria la resolución de un gran número de complejas ecuaciones diferenciales. Para dar solución al problema, este debe ser discretizado. Con este procedimiento se obtienen valores aproximados de las incógnitas de un número determinado de puntos dentro del elemento de estudio que dependen directamente del número de elementos que componen la discretización de la pieza.

La discretización consiste en la división del elemento de estudio, previamente modelado, en un sistema formado por subpartes del mismo de forma que todas esas partes sean equivalentes al elemento en conjunto estando. Cada uno de esos pequeños cuerpos (elementos finitos) están interconectados mediante puntos comunes o nodos formando superficies y comportándose como elementos cerrados que forman volúmenes de control independientes que se ven a su vez afectados por las condiciones frontera que afectan al cuerpo estudiado como un todo.

6. Modelo numérico

La geometría de vía se ha realizado con una herramienta CAD. Una vez realizada, la sección 3D de la misma se exportará al programa de cálculo tridimensional elegido previamente (ANSYS).

La geometría de vía se corresponde con una sección de vía única de alta velocidad, cuya estructura geométrica viene dada por la siguiente figura.

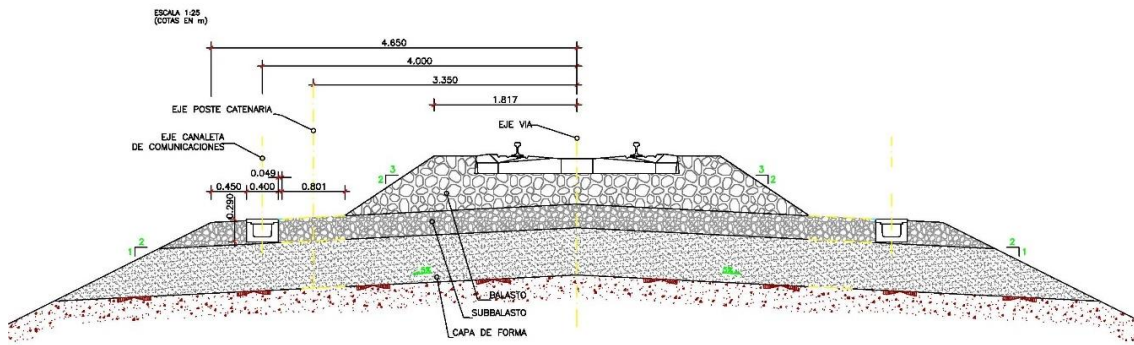


Figura 15 Detalle sección transversal de vía para la modelización. Definición geométrica.

La sección de vía simplificada que se va a utilizar está formada por carril UIC 60, traviesas monobloque de hormigón pretensadas, las cuales descansan sobre una banqueta de balasto, una capa de subbalasto y una capa de forma sobre el terreno natural representada como una condición de contorno. No se considerarán en el cálculo las obras de fábrica de drenaje longitudinal a ambos lados de la vía.

La capa de balasto tendrá un espesor de 500 mm de forma que la traviesa quede semienterrada en ella (20 cm + 30 cm bajo traviesa) y la capa de subbalasto tendrá un espesor de 300 mm. Ambos materiales tanto el balasto como el subbalasto cuentan con diferentes características que se describirán más adelante.

El modelado comienza con el proceso de creación de la sección de vía mediante una herramienta CAD.

6.1 Modelo de vía

El modelo de vía finalmente utilizado constará de las siguientes partes:

- **Banqueta de balasto:** se considera como un sólido continuo para la simplificación de la misma.
- **Capa de subbalasto:** se colocará justo debajo de la capa de balasto, siguiendo las mismas consideraciones utilizadas en la banqueta de balasto.

- **Traviesas monobloque de hormigón pretensado:** en este proyecto se van a utilizar unas traviesas monobloque de hormigón pretensado. A la hora de modelizar se va a considerar la traviesa como un sólido de un único material, pero con las propiedades y características de una traviesa pretensada real.

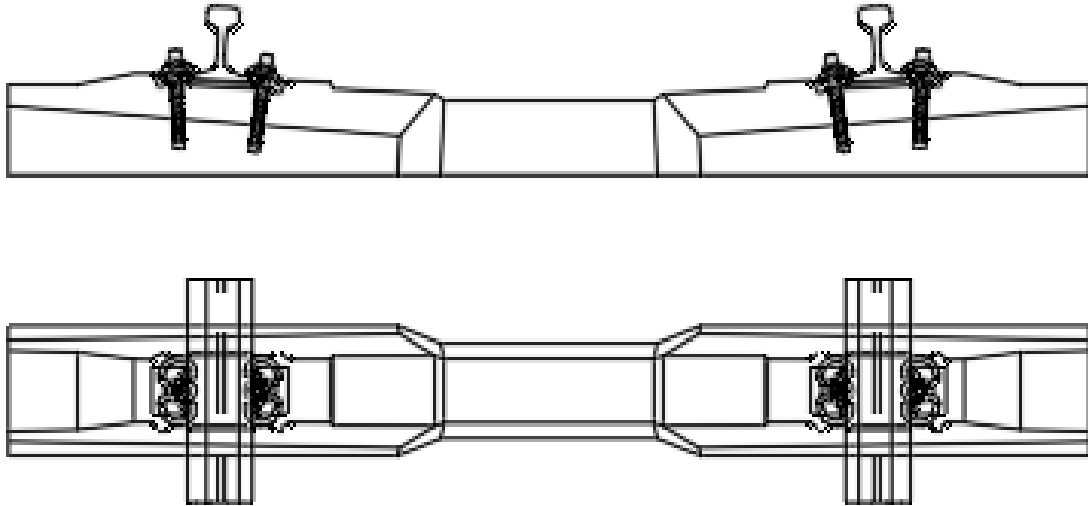


Figura 16 Detalle de traviesa monobloque de hormigón pretensado del modelo numérico

- **Sujeciones y Pads:** estos elementos que se colocan entre las traviesas y los carriles a modo de elemento de amortiguamiento. La sujeción utilizada es del tipo Vossloh SKL.

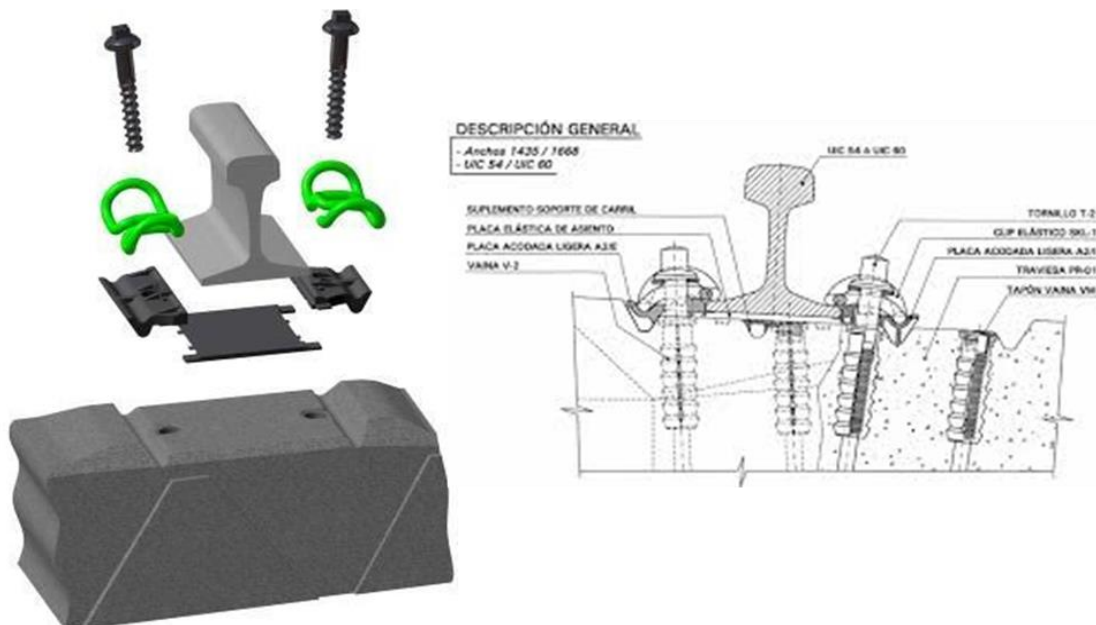


Figura 17 Detalle sujeción empleada del tipo Vossloh SKL

- **Carriles:** para el estudio se va a trabajar con carriles UIC60. El perfil de este tipo de carril viene dado en la siguiente figura.

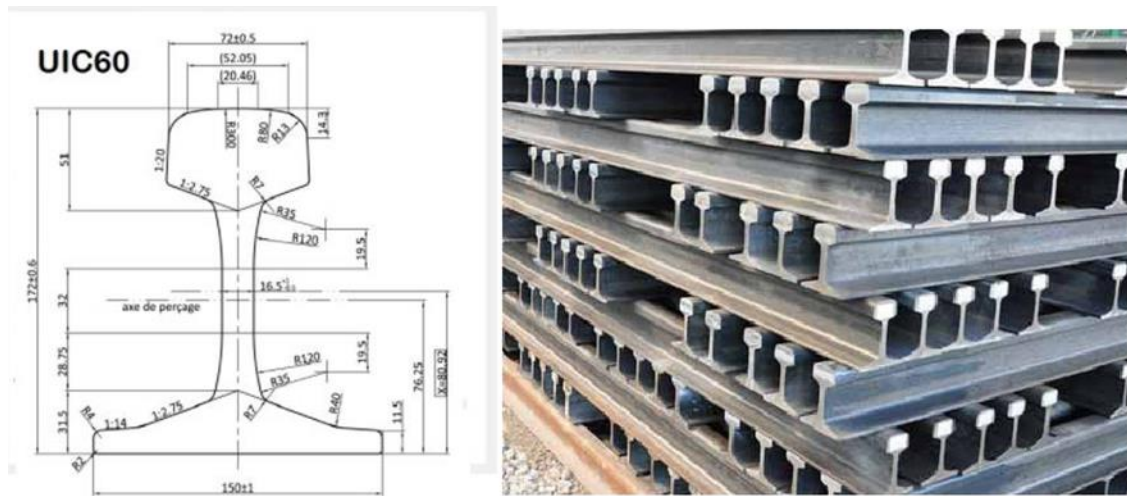


Figura 18 Detalle y vista en sección de carril UIC 60

El modelado comienza con el proceso de creación de la sección de vía mediante una herramienta de entorno CAD en la que se crearán los componentes citados anteriormente.

Para realizar las primeras pruebas del modelado vía en el programa **ANSYS R19.2** se ha utilizado una simplificación de la geometría de vía para conseguir una mayor rapidez en los cálculos y en la eficiencia del propio programa. En primer lugar, el diseño de los componentes de la vía se ha realizado en una herramienta de entorno CAD.

Las primeras pruebas para la correcta calibración y ajuste del programa se van a realizar con un modelo de vía compuesto por una capa de subbalasto, una capa de balasto, cuatro traviesas monobloque, ocho pads, y dos carriles junto con los correspondientes elementos de las sujeciones, estas últimas no se incluyen en las primeras pruebas de calculo

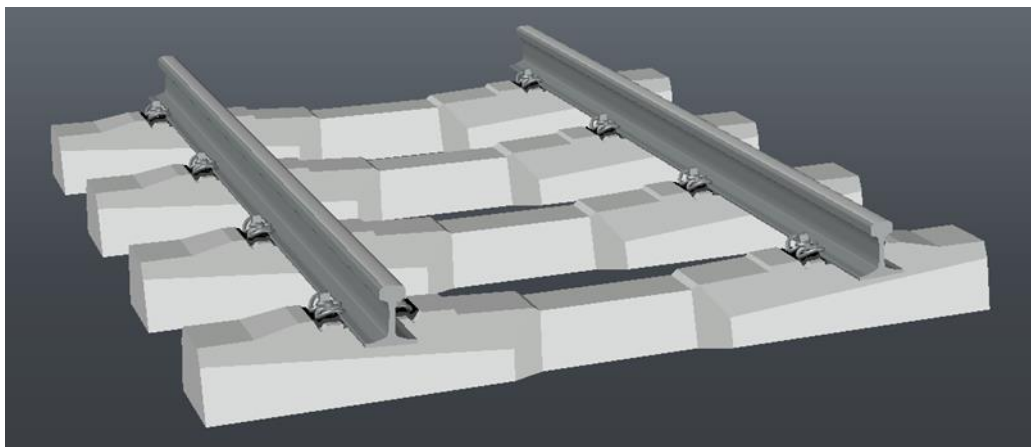


Figura 19 Modelo simplificado de vía

Se debe tener en cuenta que las traviesas se colocan enterradas en su mayor parte en la banqueta de balasto por lo que será necesario que en el modelo creado queden embebidas en la primera capa de balasto, considerándolas como elementos separados.

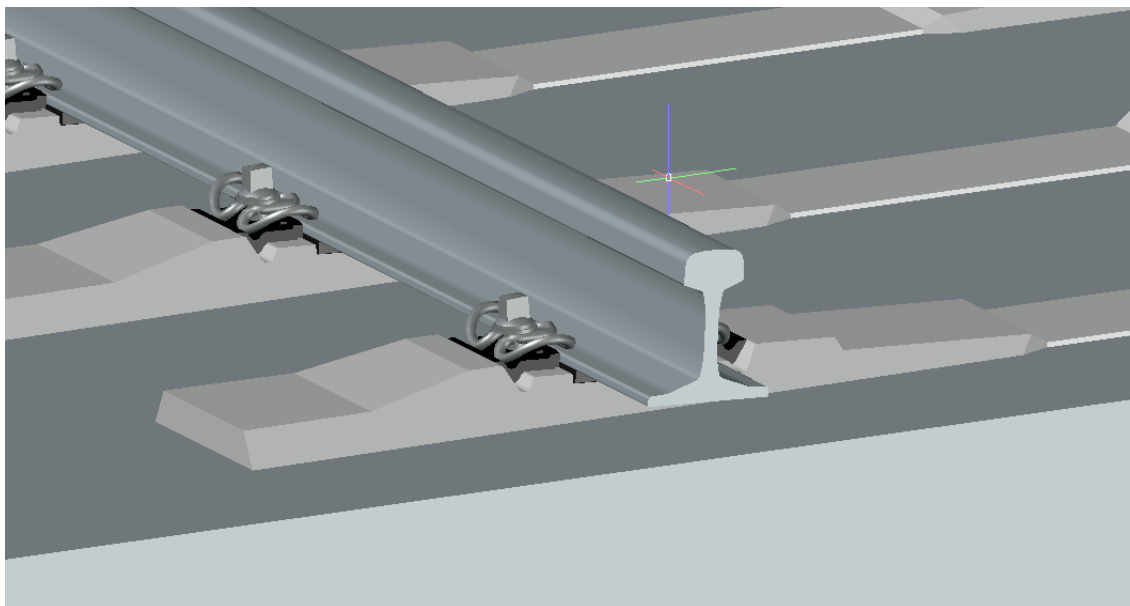


Figura 20 Detalle de las sujeciones del modelo en el entorno CAD

A continuación, se comienza con el uso del programa ANSYS. Primero se introducirán los materiales de los que están compuestos cada uno de los elementos que se van a utilizar con las propiedades y características correspondientes para su correcto comportamiento y caracterización en el programa. Los elementos que van a componer el modelo se enumeran en la siguiente tabla. [4]

Tabla 4 Propiedades de los materiales en el modelo usado en ANSYS R19.2

Material	Parámetros		
	Módulo Elasticidad (MPa)	Módulo de Poisson	Densidad (Kg/m3)
Carril y Tirafondo	206000	0,3	7800
Pad	100	0,49	850
Clip	180000	0,3	7800
Codo-pad	5200	0,34	1360
Hormigón-Traviesas	62,4	0,2	2500
Balasto	170	0,3	1800
Subbalasto	500	0,25	1600
Vaina	2600	0,39	1140

No se han incluido más capas inferiores al subbalasto. Los casos tipo analizados, han dado deformaciones y tensiones depreciables en capas inferiores al subbalasto.

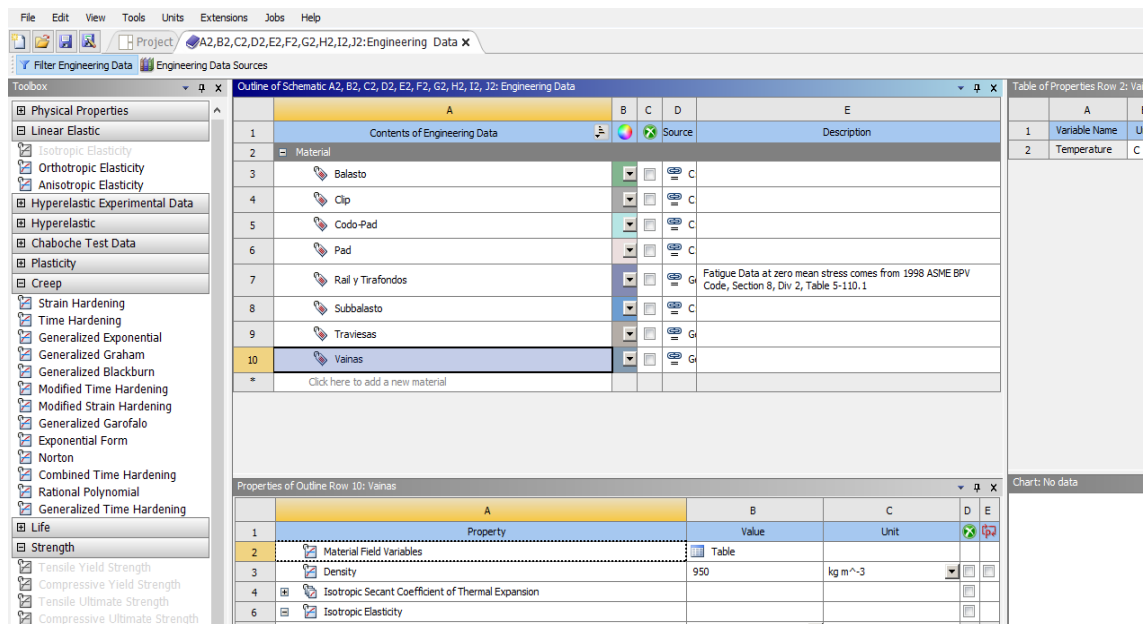


Figura 21 Materiales definidos en el entorno de ANSYS Workbench

Una vez definidos los materiales se procederá a importar la geometría del entorno CAD al espacio de modelado de ANSYS, SpaceClaim. Como se puede apreciar en las figuras 22 y 23, cada elemento del modelo está representado por un color distinto. En este programa esa diferencia de color implica una correcta modelización y que los componentes van a comportarse como elementos separados y no como un único elemento macizo. A continuación, se exponen capturas de pantalla correspondientes al modelo completo y a cada uno de los elementos que lo componen.

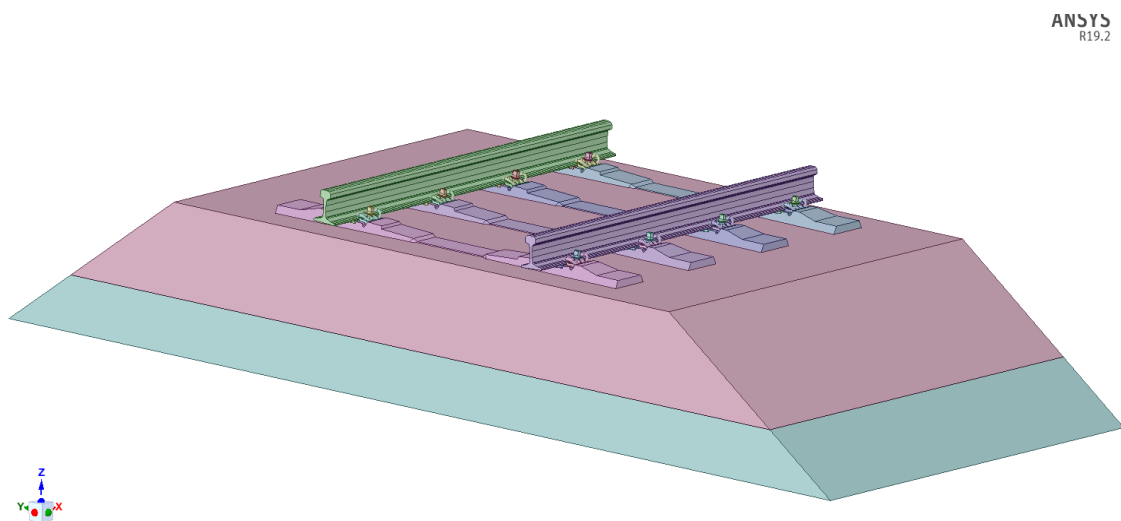


Figura 22 Sección completa en el entorno de modelado de ANSYS SpaceClaim

ANSYS
R19.2

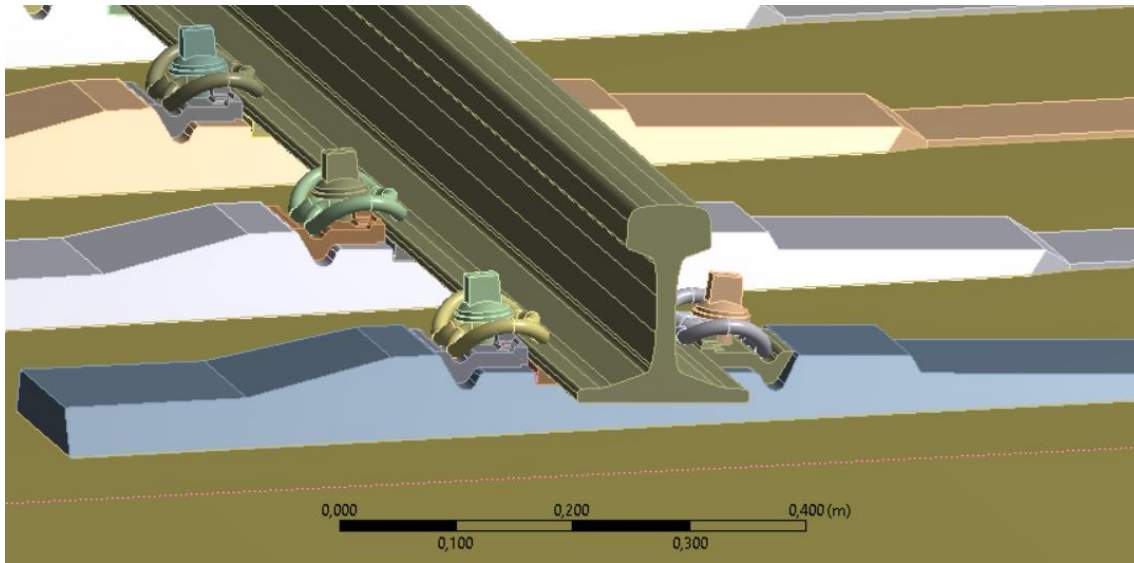


Figura 23 Detalle de las sujeciones en el entorno de modelado Mechanical de ANSYS R19.2

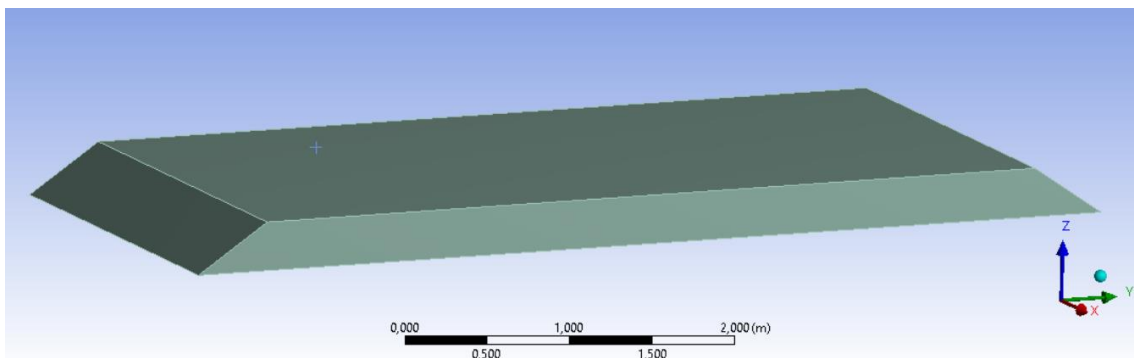


Figura 24 Capa base de subbalasto en el modelo en ANSYS Mechanical

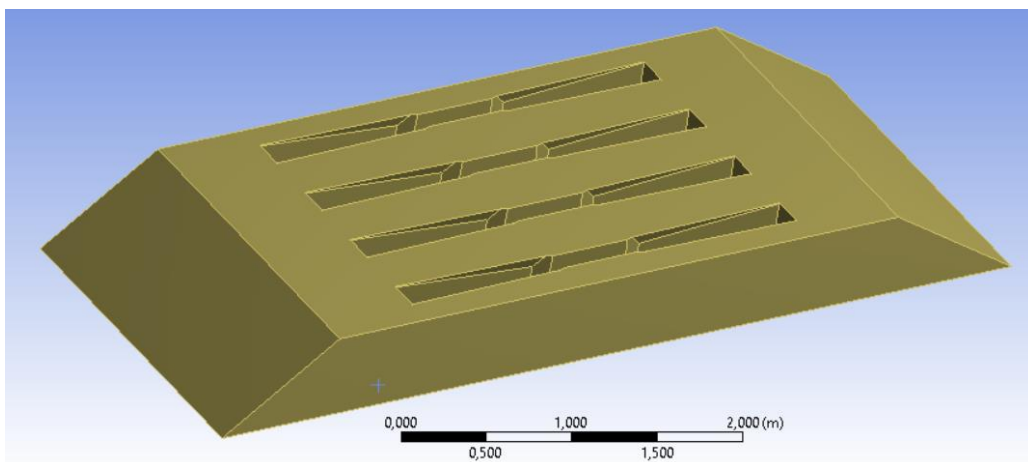


Figura 25 Capa de balasto en el modelo en ANSYS Mechanical

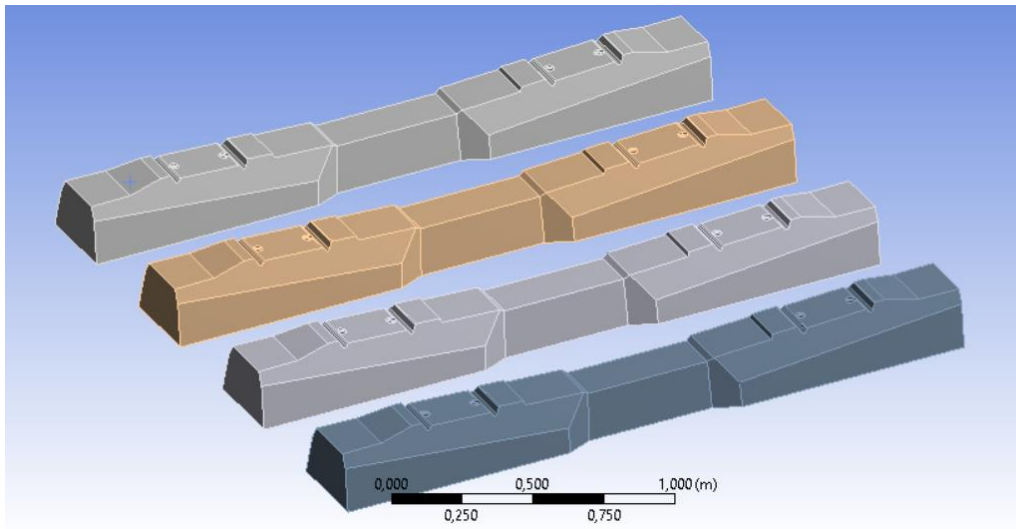


Figura 26 Traviesas de hormigón en el entorno de ANSYS Mechanical

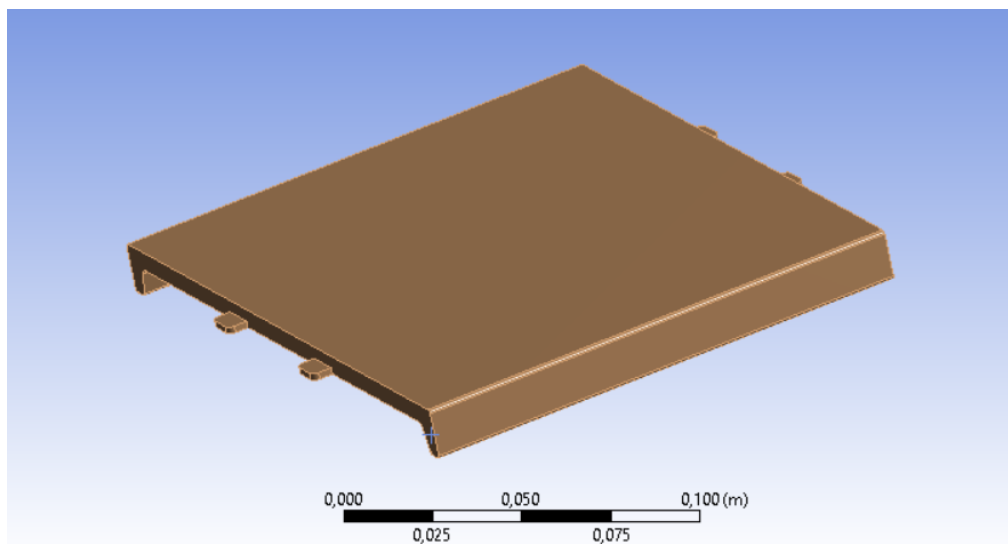


Figura 27 Pad en el entorno de ANSYS Mechanical

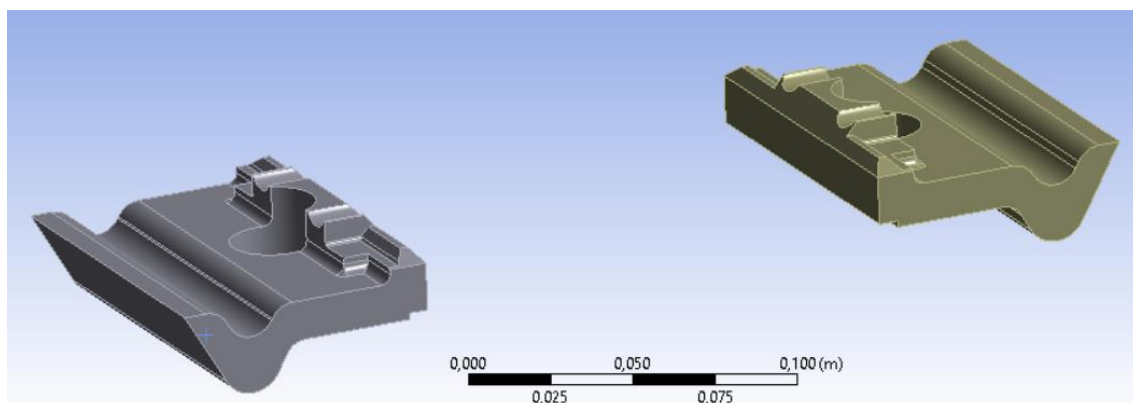


Figura 28 Codos complementarios al Pad en el entorno de ANSYS Mechanical

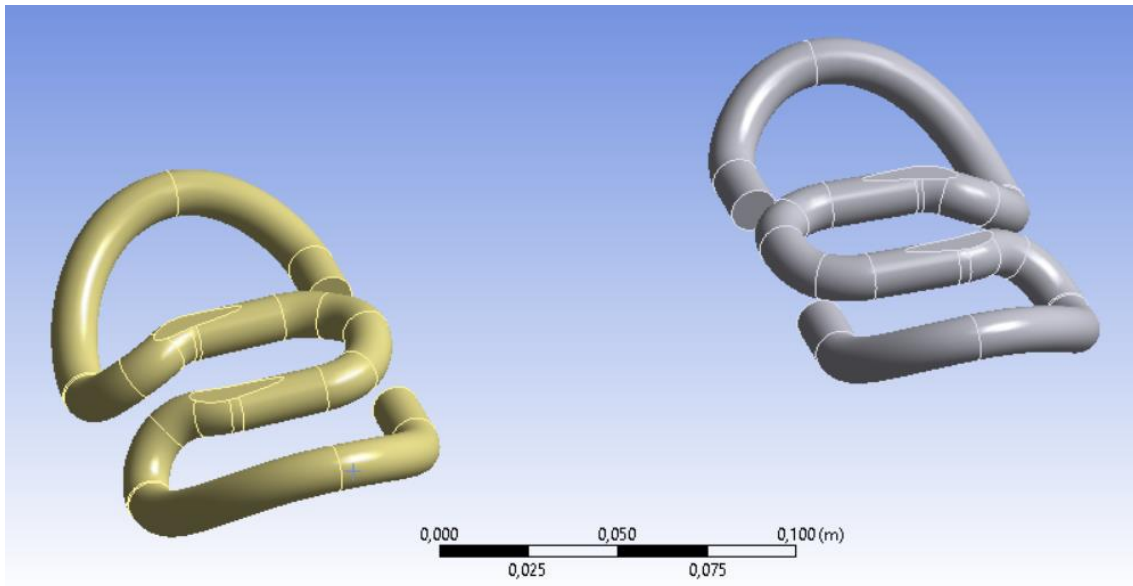


Figura 29 Clips de las sujeciones en el entorno de ANSYS Mechanical

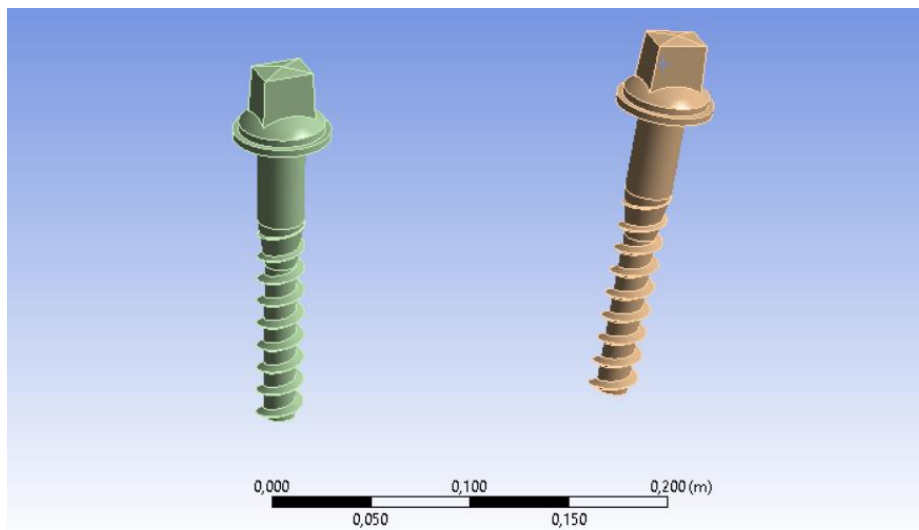


Figura 30 Tirafondos de las sujeciones en el entorno de ANSYS Mechanical

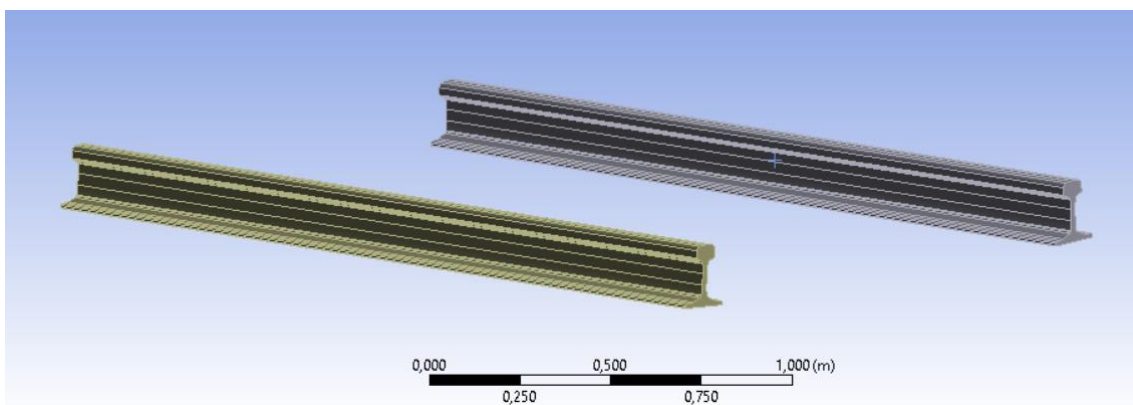


Figura 31 Carriles en el entorno de modelado de ANSYS Mechanical

Para una mayor facilidad de manejo de los diferentes elementos se van a crear agrupaciones con las diferentes partes que conforman el modelo de vía. En el programa estas agrupaciones se conocen como “Named selection” y son necesarias para aplicar cargas, dar propiedades a los elementos y más funciones que se expondrán a lo largo del proyecto.

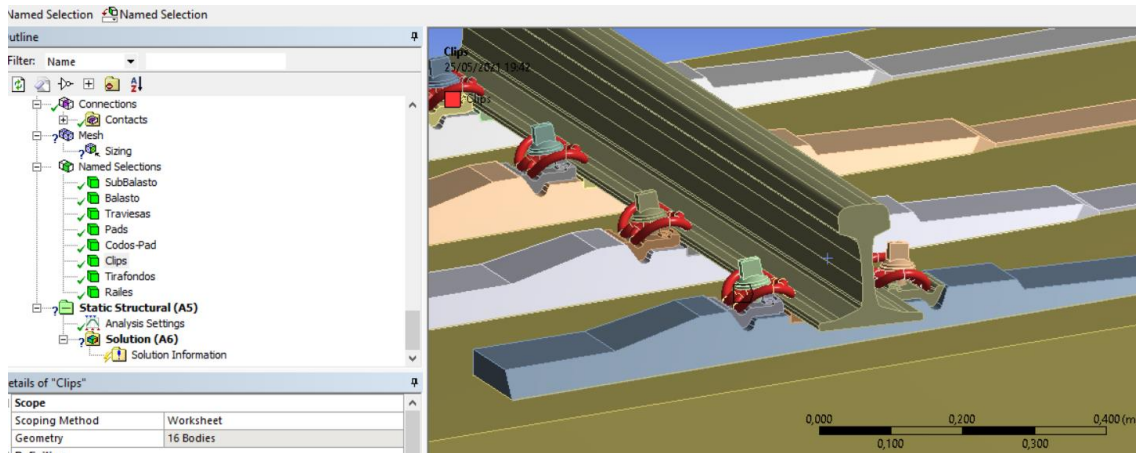


Figura 32 Creación de las diferentes “Named Selection” (ejemplo clips)

El siguiente paso será la definición del mallado del modelo. Consistirá en la división de los sólidos en pequeñas partes relacionadas entre sí donde se aplican las diferentes ecuaciones de resistencia de materiales para la creación de la matriz de cálculo. Es posible definir puntos de interés en los que se requiera de un mayor detalle creando una malla más tupida (ver figura 33, tabla 5). En este caso, las zonas en las que se asignará un mallado de mayor densidad serán los elementos que forman los carriles y las sujeciones (tirafondos, clips, codos y pads) por ser estas últimas el principal objetivo de estudio de este trabajo. Para llevar a cabo este proceso utilizaremos las agrupaciones creadas en el punto anterior y la opción de “Sizing” a la hora de crear la nueva malla. Es en este momento cuando definiremos el espaciado de la cuadrícula de cada “Named Selection”.

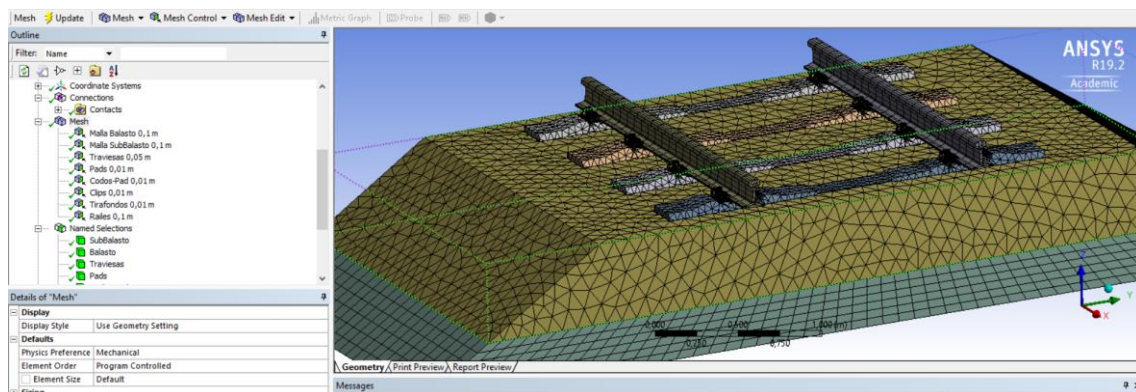


Figura 33 Mallado de la sección de vía en el entorno de modelado ANSYS Mechanical

Tabla 5 Tamaño de malla por elemento

Elemento	Tamaño de malla
Balasto	0,1 m
SubBalasto	0,1 m
Traviesas	0,05 m
Pads	0,01 m
Codos-Pad	0,01 m
Clips	0,01 m
Tirafondos	0,01 m
Carriles	0,1 m

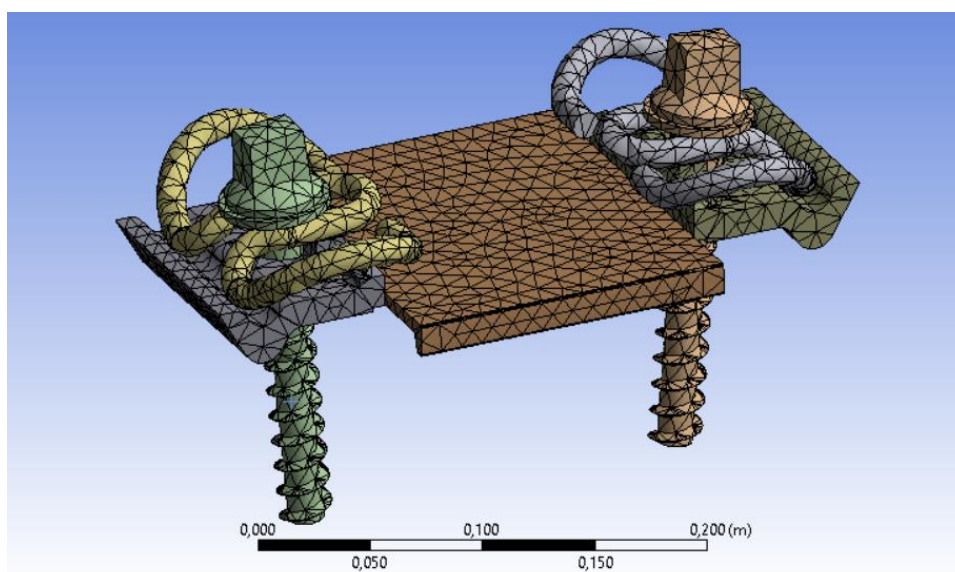


Figura 34 Detalle de la malla en los elementos que forman las sujeciones: tirafondos, clips, codos y pad

Al igual que se ha hecho con la asignación del mallado correspondiente a cada agrupación, se asignará a cada “Named Selection” las características propias de los materiales que la forman que han sido definidos en los primeros pasos del modelado en el programa ANSYS R19.2 creando “Material assignments”

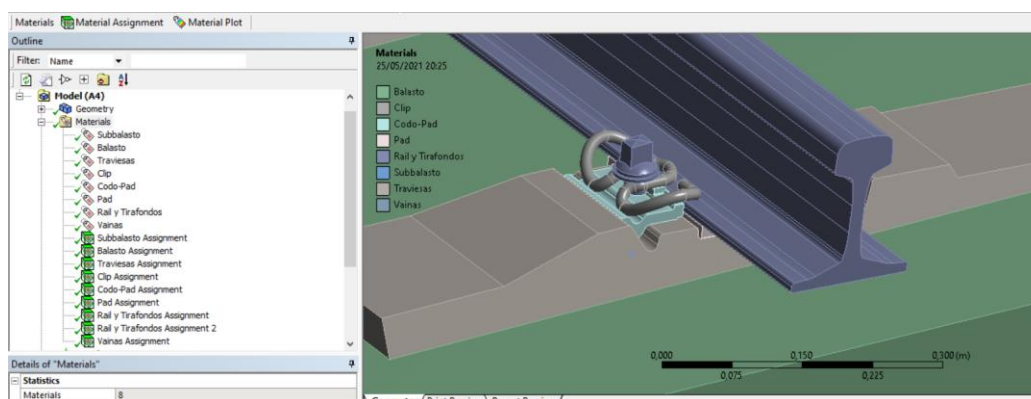


Figura 35 Detalle de la sujeción con los materiales asignados a cada elemento en ANSYS Mechanical

Los contactos entre los diferentes elementos que componen el modelo se realizan de forma automática por el propio programa. Son varios los tipos de contactos que el programa nos permite crear: “bonded”, “no separation”, “frictional”, “frictionless”, “rough”. [6]

Tabla 6 Comportamiento según tipo de contacto

Tipo de contacto	Definición
Bonded	Las geometrías definidas actúan como un solo cuerpo. Los cuerpos no se pueden mover (no se deslizan y no se separan) y rotan entre sí.
No separation	El contacto, el objetivo y la superficie de contacto se unen para el resto del análisis. El deslizamiento es posible, pero los nodos en contacto están unidos a la superficie del objetivo en la dirección normal.
Frictional	El par de contactos puede deslizarse y separarse en la superficie del objetivo. Los coeficientes de fricción afectan los movimientos tangenciales.
Frictionless	El par de contactos puede deslizarse sobre la superficie del objetivo en la dirección tangencial y en la dirección normal
Rough	El coeficiente de fricción tiende a ser infinito en el cuerpo. El par de contactos no puede moverse en la dirección tangencial porque los nodos en contacto están pegados en la superficie objetivo en la dirección tangencial.

En este caso se va a suponer un contacto tipo “Bounded”. Los elementos se van a comportar como si fueran un único elemento con las diferentes características de los materiales de cada parte. El único movimiento que está permitido es el giro. Se supone un contacto perfecto y una fricción máxima entre los diferentes elementos para poder utilizar este tipo de contacto.

Para continuar con el modelo numérico es necesario definir unas condiciones de contorno que definan el espacio donde se está ensayando el modelo. Debido al contacto definido entre elementos no hay riesgo de que unas capas deslicen sobre otras. Se colocará un “Fixed Support” en la cara inferior de la geometría del subbalasto, que simularía el contacto entre subbalasto y explanada, esta condición reducirá los grados de libertad de movimiento de la capa de forma que la base actúe como un elemento fijo. La otra condición fundamental que debemos introducir es la aceleración de la gravedad que actúa sobre todos los elementos del modelo y que se añade como “Standart Earth Gravity” y teniendo una componente vertical negativa de $9,8066 \text{ m/s}^2$.

Puesto que no se ha considerado ningún tipo de movimiento de lazo y tampoco ninguna imperfección superficial de carril, la vía es simétrica y las cargas también por lo que no se espera pandeo ni deformaciones excesivas en el sentido transversal.

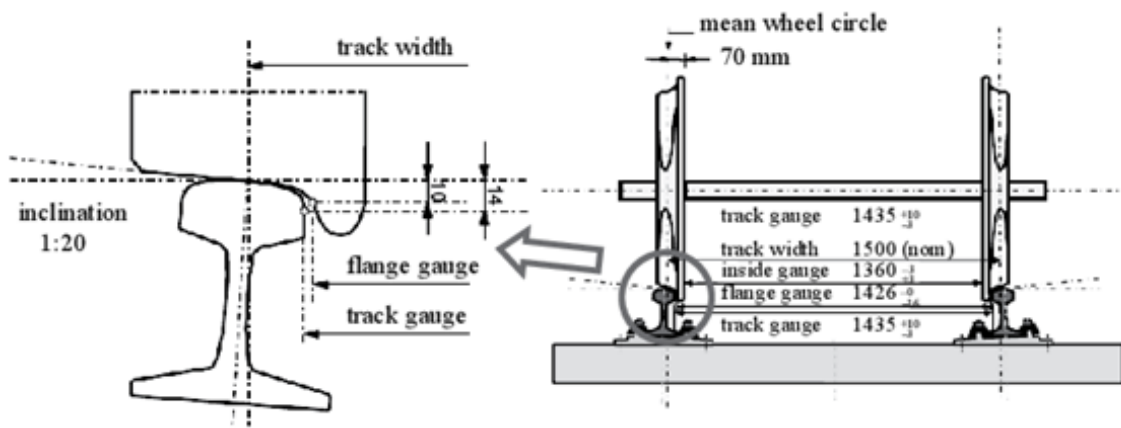


Figura 36 Detalle contacto rueda-carril para aplicación de carga [22]

Para terminar con las condiciones y solicitaciones que actúan sobre el modelo, se añadirán las cargas correspondientes a un tren de mercancías, quedando del lado de la seguridad para trenes convencionales y alta velocidad (más ligeros). Esto supone 22 toneladas por eje, que se modelizarán como dos cargas verticales hacia abajo de 11 toneladas cada una actuando en la zona central del modelo sobre los carriles (tanto en el vano central entre traviesas en el modelo de 4 traviesas como en la traviesa central en el modelo de 5). Para la colocación de las cargas se usará de nuevo el elemento “Named Selection” con el que se definirán los puntos de aplicación. Se colocarán ligeramente desplazados de la cabeza del carril hacia el eje longitudinal de la vía para simular el contacto real rueda-carril.

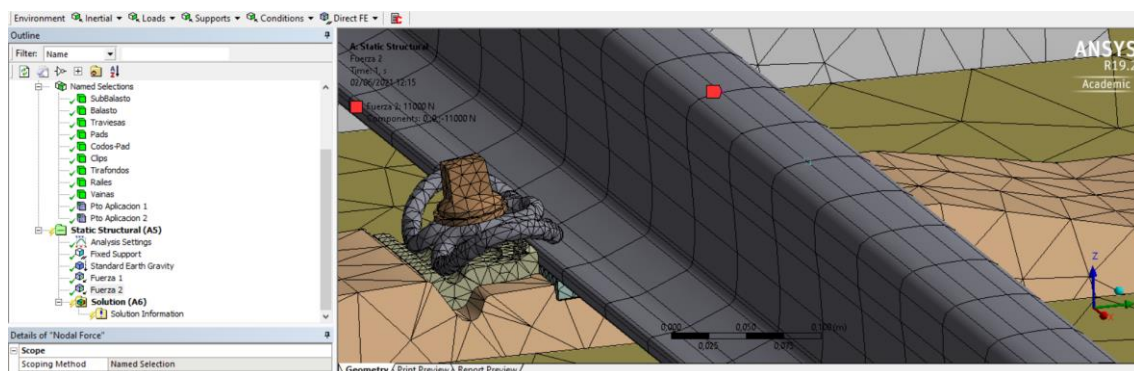


Figura 37 Condiciones de contorno, solicitaciones y punto de aplicación de las cargas

El paso final consistirá en definir los parámetros que se quieren medir en el modelo. En este caso como prueba inicial para la calibración del modelo, se ha decidido tomar medidas de las deformaciones que se generan en la vía. El programa automáticamente ajusta la escala de las deformaciones para que sean visibles y les da un rango de colores para poder conocer a simple vista donde son mayores (rojo mayor deformación y azul oscuro menor deformación).

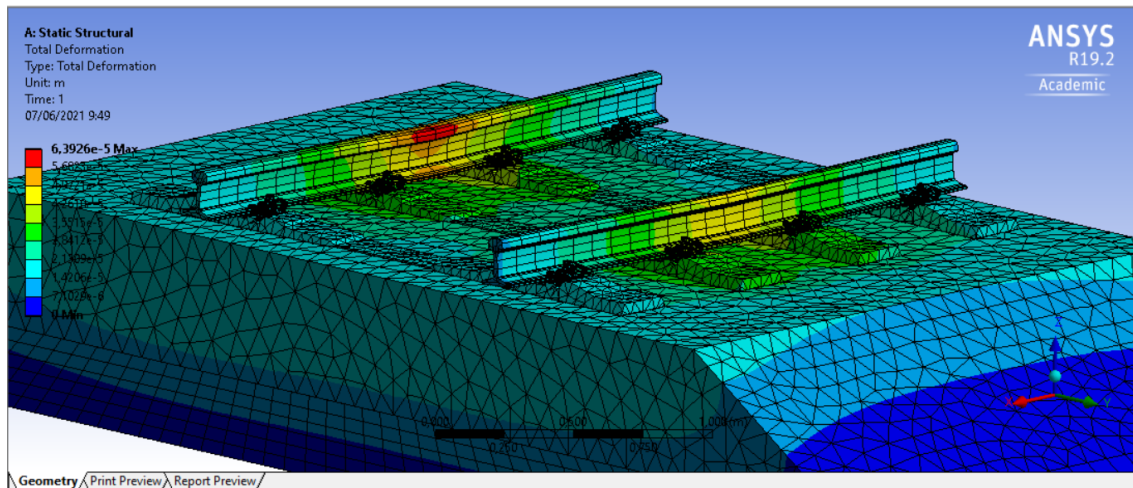


Figura 38 Modelo 3D de vía con deformaciones debidas a la gravedad y de las cargas de un eje

Una vez se ha probado el correcto funcionamiento del modelo inicial generado se va a realizar el modelado de los diferentes casos de estudio restantes. Se ha considerado estudiar cómo actúan las cargas de un eje en las sujeciones en función del espaciado entre apoyos de 600 mm, 700 mm 750 mm, 800 mm y 900 mm. Las cargas actuarán sobre el vano central del carril (modelo de cuatro traviesas) y sobre la traviesa (modelo de cinco traviesas). A continuación, se desarrollarán los cálculos y análisis correspondientes para la comprobación de su funcionalidad e integridad estructural.

6.2. Cargas estáticas

Se realizará un análisis estático para dos posiciones diferentes de cargas:

- **Posición entre apoyos** (entre traviesas): se colocarán las cargas correspondientes a uno de los ejes del tren centrado entre dos de las traviesas del tramo modelado.

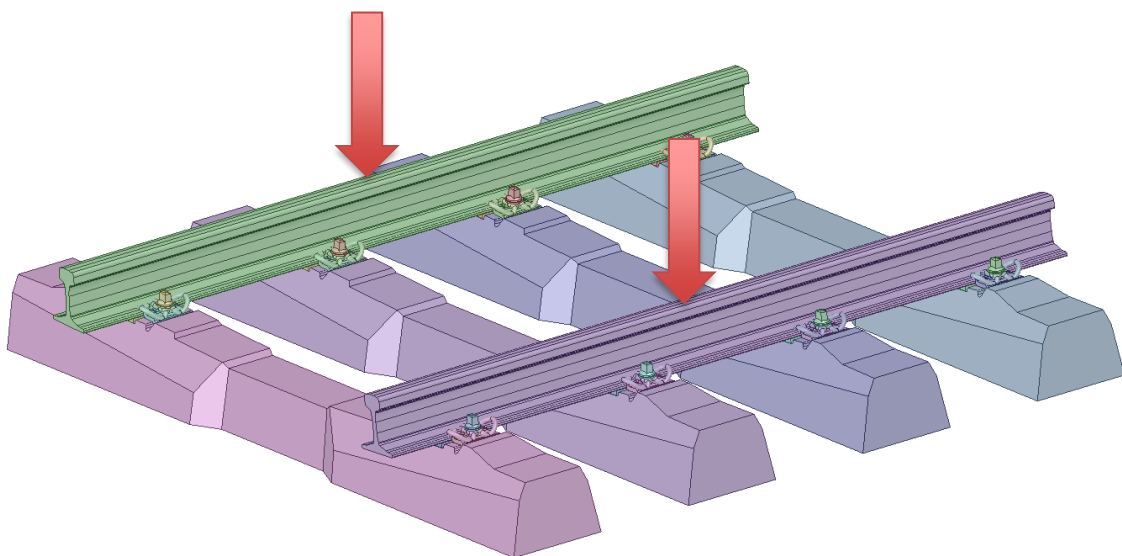


Figura 39 Diagrama de carga posición de vano

- **Posición sobre apoyo** (sobre traviesa): se colocarán las cargas correspondientes a uno de los ejes centrado sobre una de las traviesas del tramo modelado.

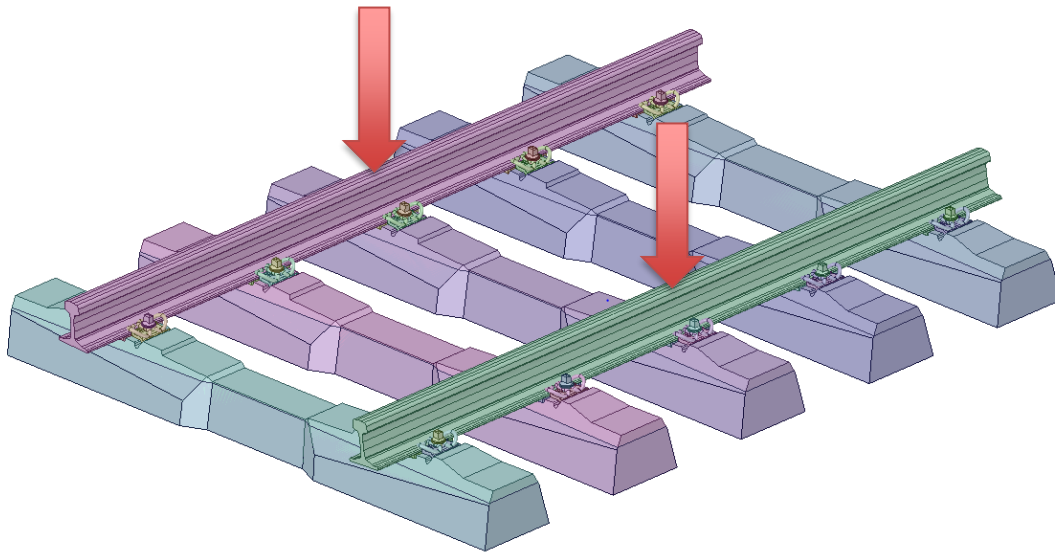


Figura 40 Diagrama de carga posición sobre traviesa

El distanciamiento a estudiar viene definido por los cálculos preliminares en dos dimensiones. Este distanciamiento irá desde los 600 mm, colocación actual, incrementando el espaciado en cada modelo 0,1 m hasta llegar a una distancia de 900 mm que según los cálculos en dos dimensiones sería la más desfavorable. Se estudiará también una posición intermedia de 750 mm.

7. Resultados obtenidos

Tras la realización del modelo en tres dimensiones y la simulación mediante elementos finitos los parámetros obtenidos serán: deformaciones totales máximas en pads, codos y clips y tensiones máximas de Von Mises en pads, codos y clips.

Los datos se obtienen a partir de los informes generados por el programa ANSYS R19.2. Estos Informes se añadirán a este estudio a modo de anejo de datos. En ellos se puede encontrar toda la información necesaria para la generación del modelo en tres dimensiones, geometría, materiales, contactos, elementos de contorno, variables del entorno, etc.

7.1. Análisis de los resultados

Se han obtenido resultados de deformaciones y tensiones en las sujeciones para el modelo analizado. Se llevará a cabo un análisis de máximos para determinar si se superan los umbrales de seguridad estructural de cada componente y posteriormente se realizará un análisis de cada parámetro en función de la distancia viendo si es posible determinar un modelo de comportamiento en función de la separación entre traviesas.

7.1.1. Elementos de la sujeción que más sufren con la variación de la distancia

En las siguientes tablas se muestran los datos obtenidos a partir del modelo ya filtrados para su rápida interpretación, se trata de los valores máximos deformación (tabla 7) y de tensión (tabla 8) que experimentan los elementos de las sujeciones objeto de estudio, los clips, los pads y los codos de los pads.

Tabla 7 Resumen valores máximos de deformación en las sujeciones

Deformación Máxima (mm)	Separación 600 mm		Separación 700 mm		Separación 750 mm		Separación 800 mm		Separación 900 mm	
	Carga en vano	Carga sobre apoyo	Carga en vano	Carga sobre apoyo	Carga en vano	Carga sobre apoyo	Carga en vano	Carga sobre apoyo	Carga en vano	Carga sobre apoyo
Clips	0,0395	0,0432	0,0401	0,0451	0,0402	0,0469	0,0404	0,0454	0,0414	0,0491
Pads	0,0437	0,0449	0,0449	0,0478	0,0446	0,0493	0,0453	0,0461	0,0469	0,0516
Codos	0,0385	0,0424	0,0391	0,0441	0,0392	0,0460	0,0394	0,0451	0,0402	0,0481

Tabla 8 Resumen valores máximos de tensión en las sujeciones

Tensión Máxima (Mpa)	Separación 600 mm		Separación 700 mm		Separación 750 mm		Separación 800 mm		Separación 900 mm	
	Carga en vano	Carga sobre apoyo	Carga en vano	Carga sobre apoyo	Carga en vano	Carga sobre apoyo	Carga en vano	Carga sobre apoyo	Carga en vano	Carga sobre apoyo
Clips	4,8970	7,1144	5,0791	6,1908	4,0972	8,2583	7,2231	3,8355	7,3346	8,7371
Pads	0,2654	0,1849	0,3048	0,2052	0,2469	0,2274	0,3195	0,1378	0,3456	0,2493
Codos	1,4688	1,2943	1,4815	1,4161	1,5665	1,4860	1,4988	0,7895	1,7436	1,6547

Las tensiones máximas obtenidas en los clips están por debajo de las tensiones máximas soportadas por los mismos para todos los casos de estudio, como se puede apreciar comparando las tablas 7 y con 8 con la tabla 9.

Tabla 9 Propiedades mecánicas de los clips

Características mecánicas	Valores (Mpa)
Tensión de fluencia	434
Resistencia a tracción	756
Tensión de fatiga	291

Como ya se ha descrito en puntos anteriores, las sujeciones están formadas por diferentes elementos: clips, pads, codos, tirafondos y vainas. En este estudio la atención se centra en los clips, los pads y los codos. Según los datos obtenidos y las simulaciones del modelo en tres dimensiones se han conseguido los valores máximos tanto de deformación como de tensión junto con su posición en el modelo.

El tirafondo y la espiga de los sistemas actuales SKL se han diseñado de forma que las combinaciones tirafondo espiga apenas reciban cargas de momentos y de fuerzas de cortante [26]. Debido a esto no se ha considerado en este estudio las deformaciones y tensiones en estos elementos de unión de la sujeción a la traviesa.

Puntos de máxima deformación y tensión en sujeciones para caso de carga en vano:

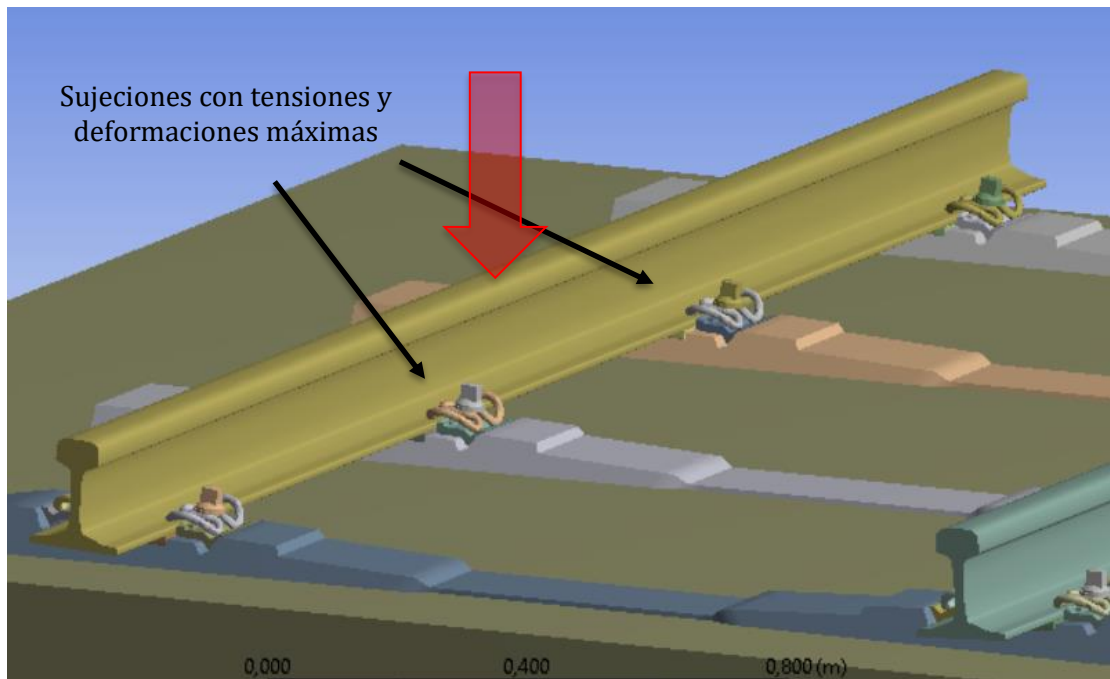


Figura 41 Detalle sujeciones más afectadas para el modelo de carga en vano (separación 900 mm)

Para el modelo de cuatro traviesas las sujeciones más afectadas son las de las traviesas centrales y por la parte interior de la vía de ambos carriles como se puede ver en la figura 41. La simetría del modelo justifica esos efectos máximos a ambos lados del punto de aplicación de la carga. Parece razonable que sean las sujeciones internas las más afectadas ya que la carga de los ejes actúa desplazada sobre la cabeza de los carriles.

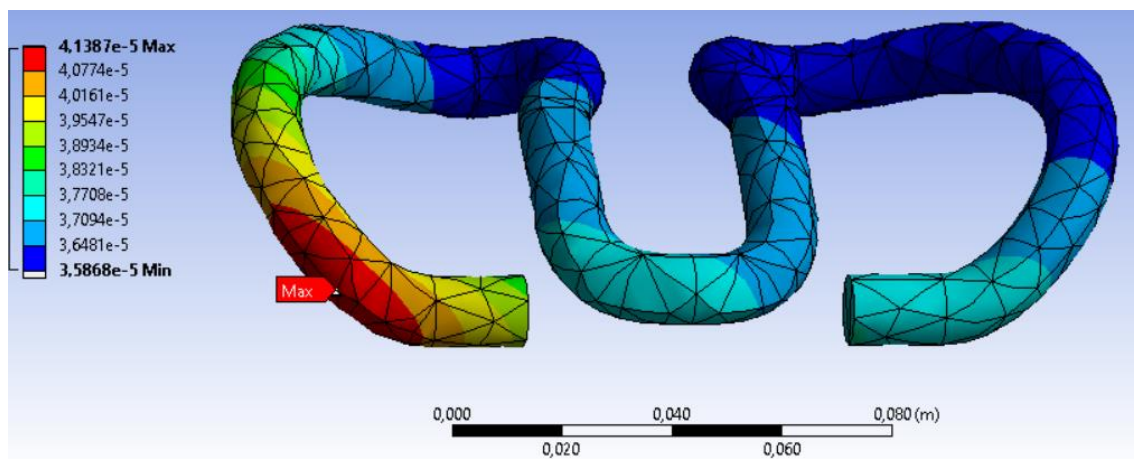


Figura 42 Detalle del punto de máxima deformación en el clip interior de las sujeciones centrales (m)

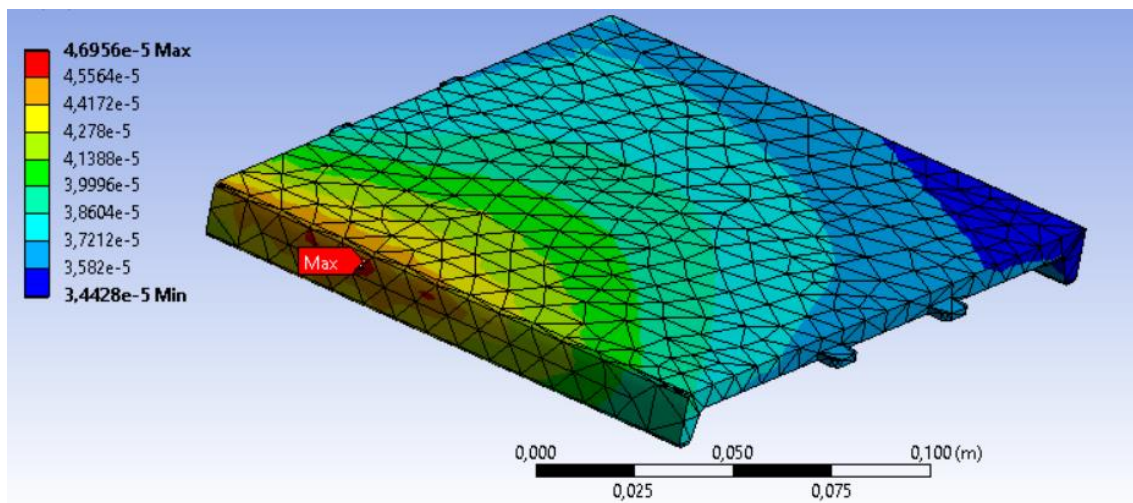


Figura 43 Detalle del punto de máxima deformación en el pad de las sujeciones centrales (m)

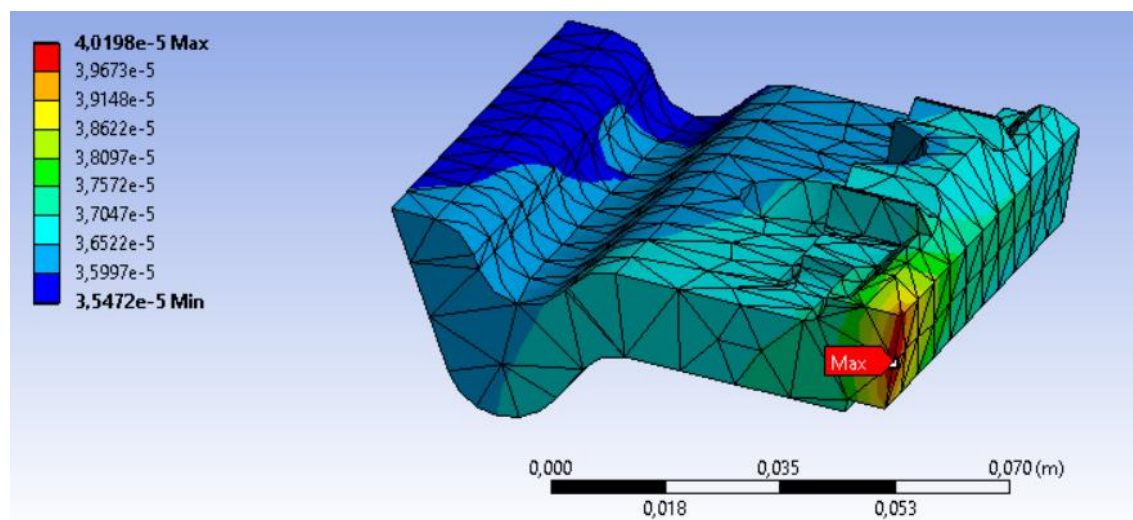


Figura 44 Detalle del punto de máxima deformación en el codo del pad de las sujeciones centrales (m)

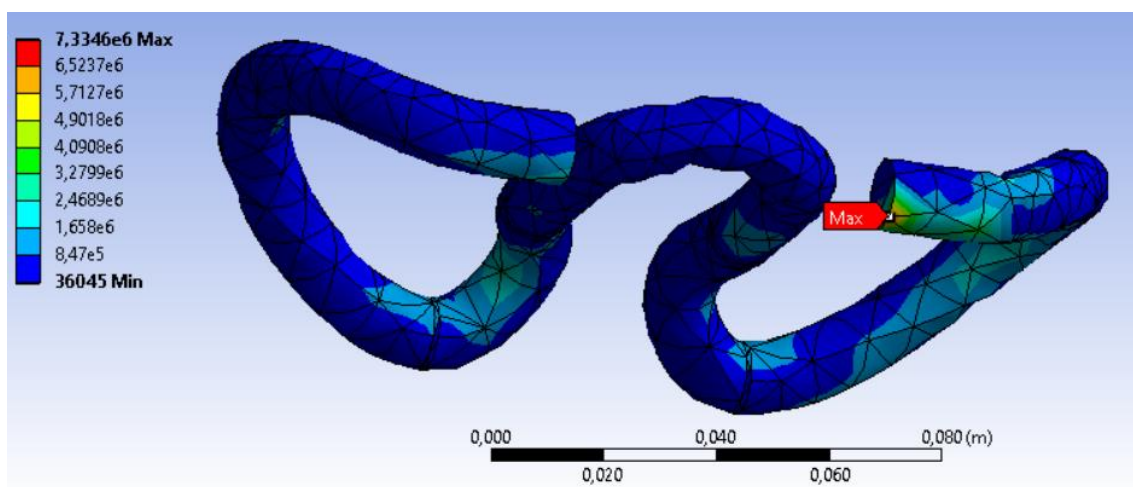


Figura 45 Detalle del punto de máxima tensión (Von Mises) en el clip interior de las sujeciones centrales (Pa)

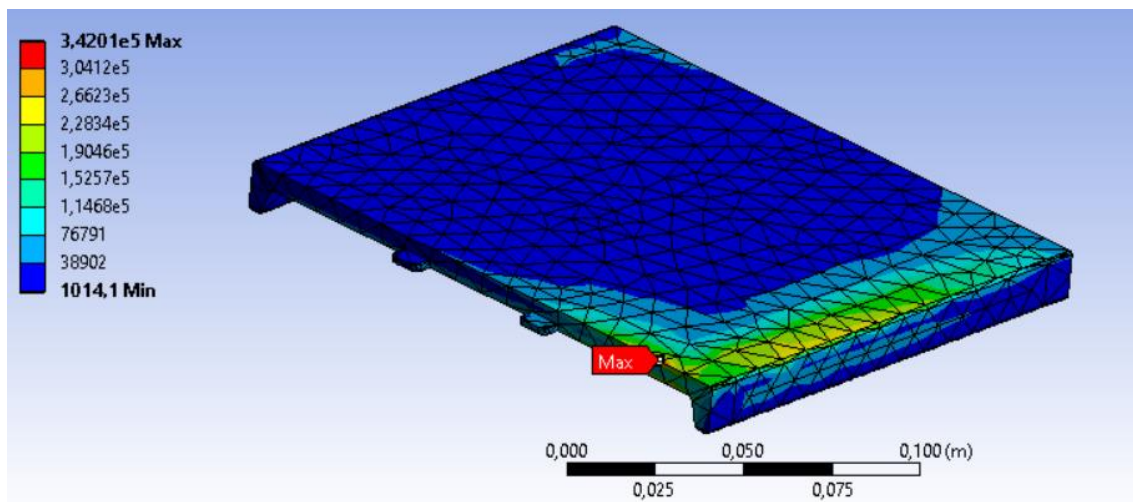


Figura 46 Detalle del punto de máxima tensión (Von Mises) en el pad de las sujeciones centrales (Pa)

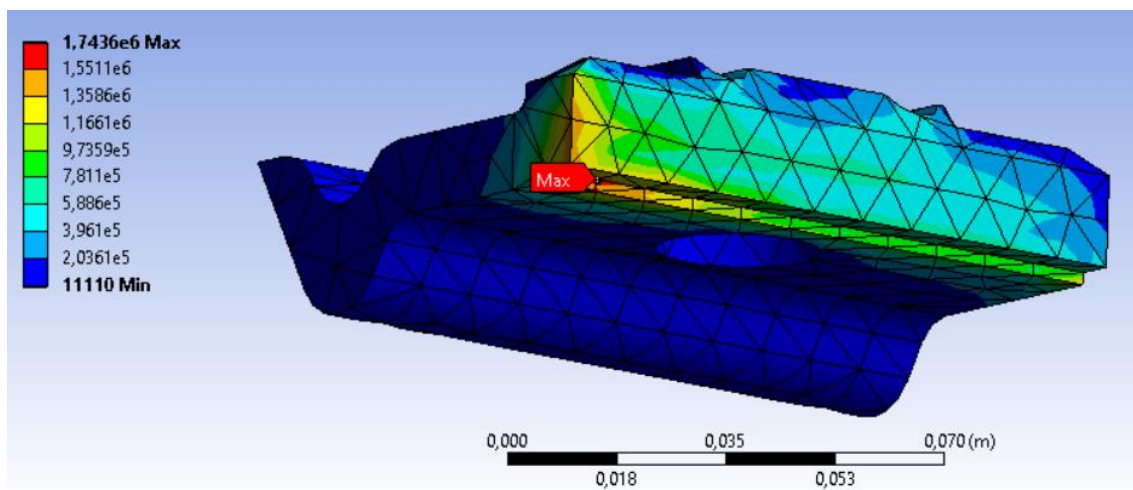


Figura 47 Detalle del punto de máxima tensión (Von Mises) en el codo del pad de las sujeciones centrales (Pa)

Estas figuras corresponden al clip, pad y codo que registran los valores máximos de deformación (medido en metros) y de tensión (medido en pascuales). Se pueden interpretar fácilmente gracias a la gama de colores, en tonos azules las zonas con valores mínimos de deformación y tensión y en rojo las zonas más solicitadas.

Puntos de máxima tensión y deformación en sujeciones para caso de carga coincidente con apoyo:

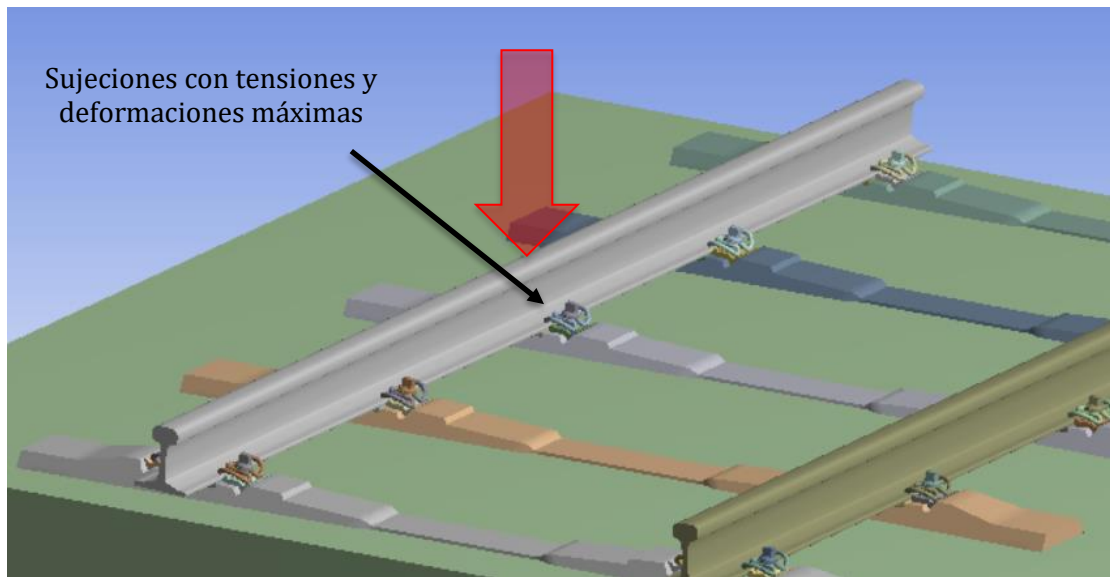


Figura 48 Detalle sujeciones más afectadas para el modelo de carga sobre traviesa (separación 900 mm)

Para el modelo de cinco traviesas las sujeciones más afectadas son las de la traviesa central y por la parte interior de la vía de ambos carriles. Los elementos de las sujeciones sufren deformaciones simétricas en función de su posición en relación con el modelo y las cargas que actúan sobre él.

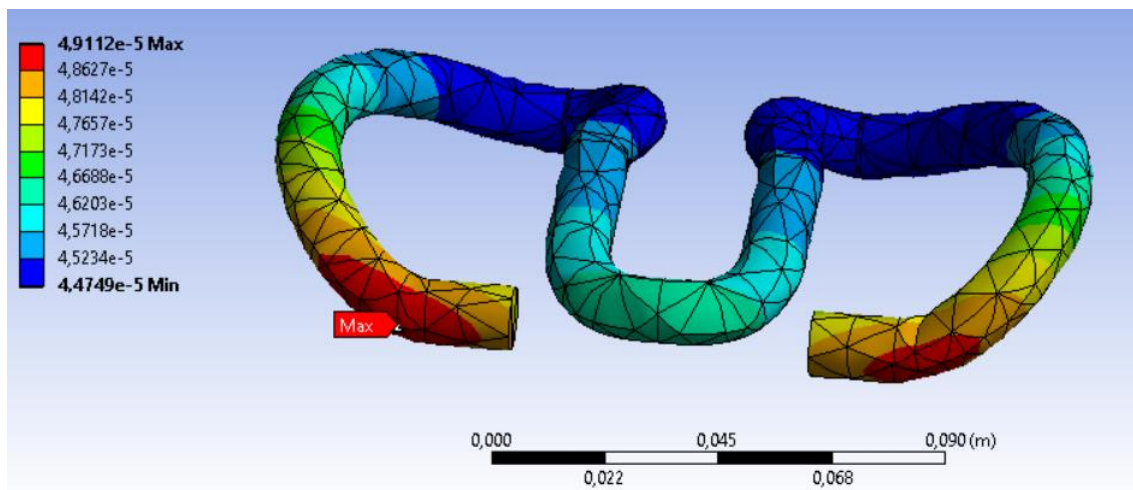


Figura 49 Detalle del punto de máxima deformación en el clip interior de la sujeción central interior (m)

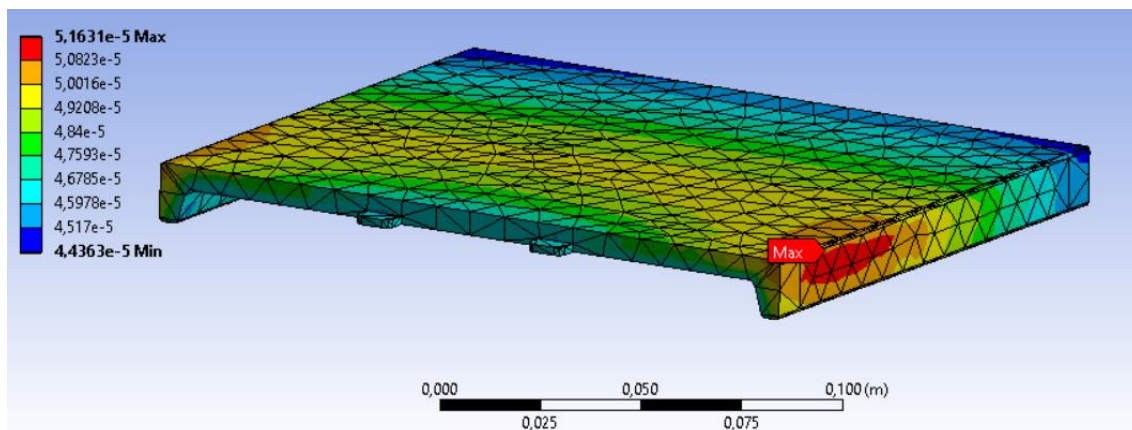


Figura 50 Detalle del punto de máxima deformación en el clip interior de la sujeción central interior (m)

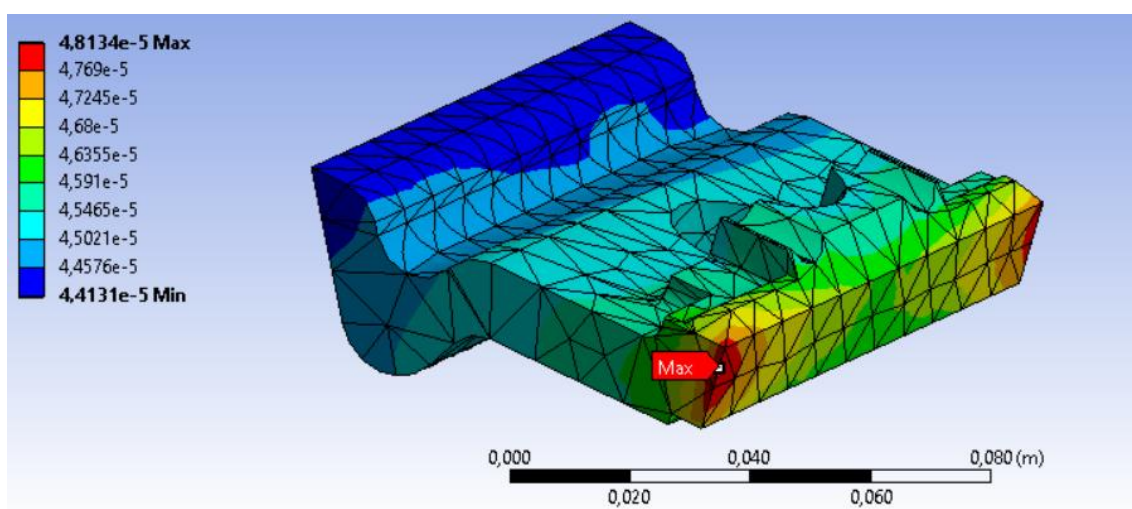


Figura 51 Detalle del punto de máxima deformación en el clip interior de la sujeción central interior (m)

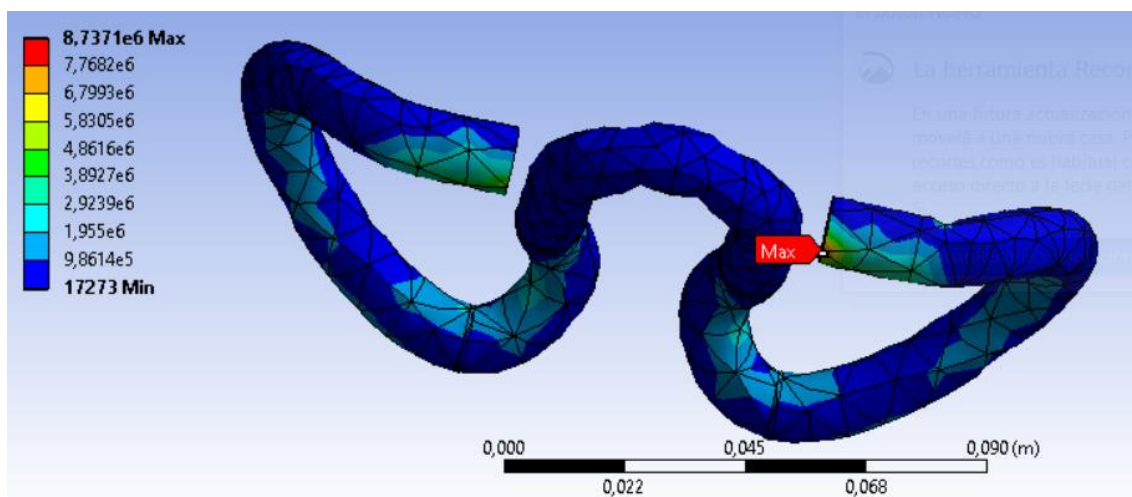


Figura 52 Detalle del punto de máxima tensión (Von Mises) en el clip interior de la sujeción central interior (Pa)

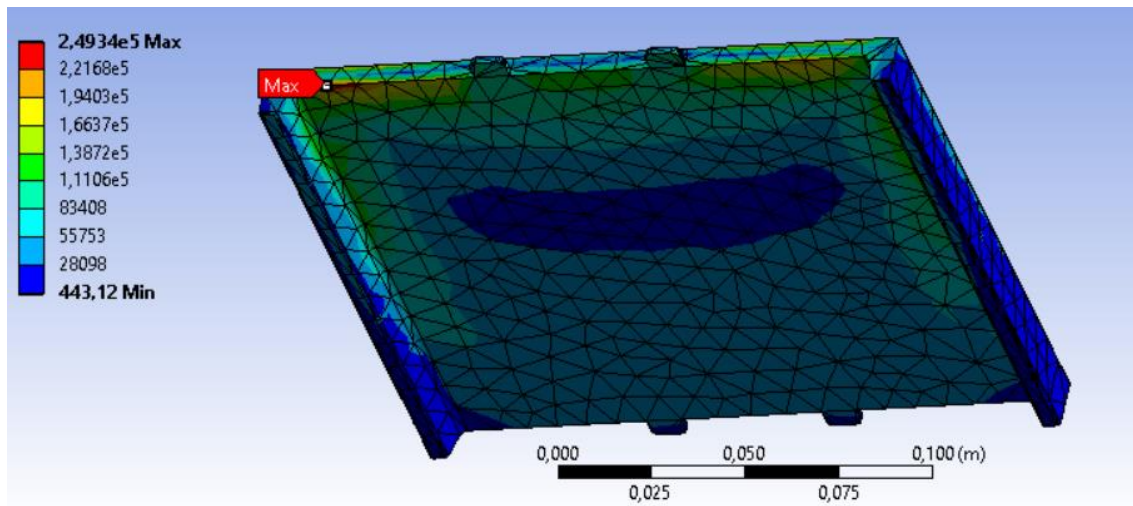


Figura 53 Detalle del punto de máxima tensión (Von Mises) en el pad de la sujeción central interior (Pa)

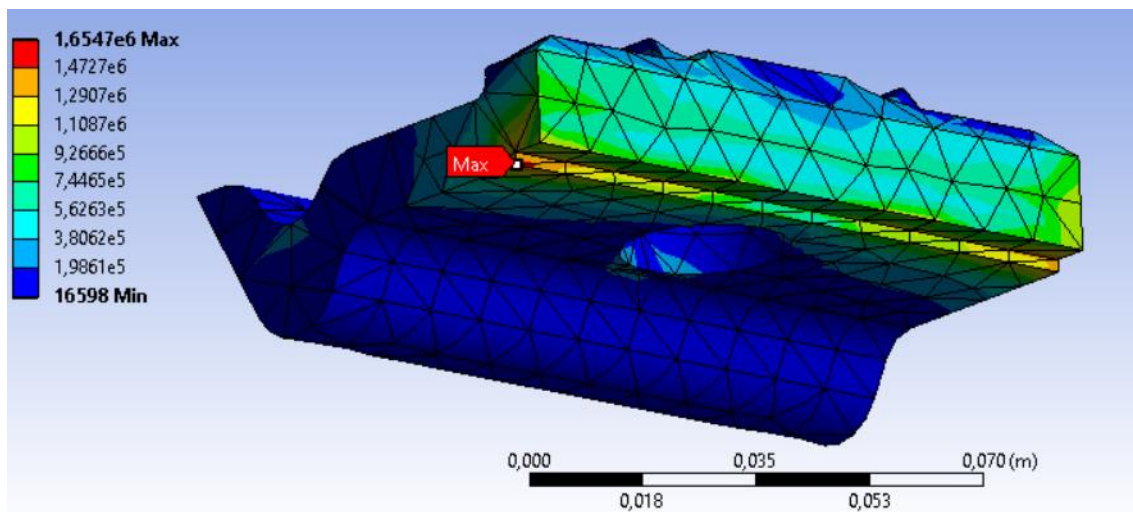


Figura 54 Detalle del punto de máxima tensión (Von Mises) en el codo del pad de la sujeción central interior (Pa)

7.1.2. Modelo de comportamiento de la sujeción en función de la separación entre traviesas

Para una mejor interpretación de los diferentes datos se han realizado las siguientes gráficas resumen a partir de los datos obtenidos. En ellas se muestra la separación entre traviesas en el eje de abscisas y las diferentes variables, tensión y deformación de cada elemento en el eje de ordenadas para los dos casos de estudio, la carga actuando sobre una traviesa (apoyo) o entre dos traviesas (vano). Se ha añadido una regresión lineal para cada serie de puntos de forma que sea posible obtener más datos de distintas hipótesis de espaciado entre traviesas. Esto solo será posible cuando el coeficiente R^2 tenga un valor próximo a la unidad.

A continuación, se muestran las gráficas obtenidas:

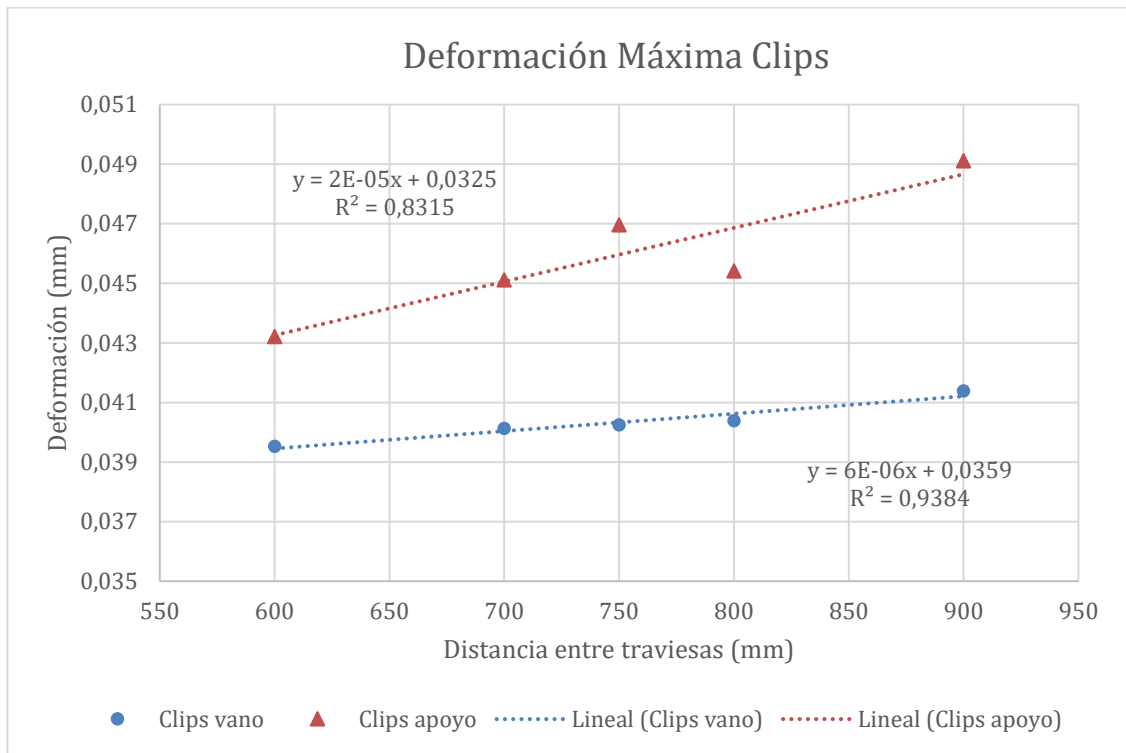


Figura 55 Gráfica Separación-Deformación de los clips de las sujeciones

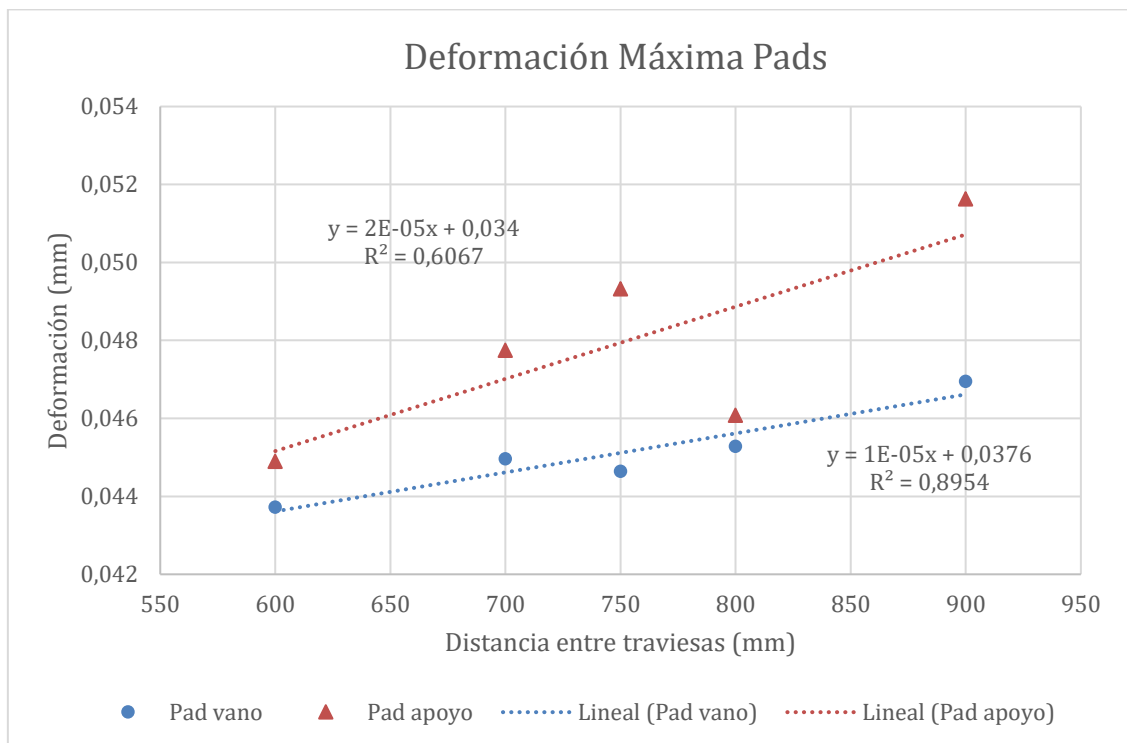


Figura 56 Gráfica Separación-Deformación de los Pads de las sujeciones

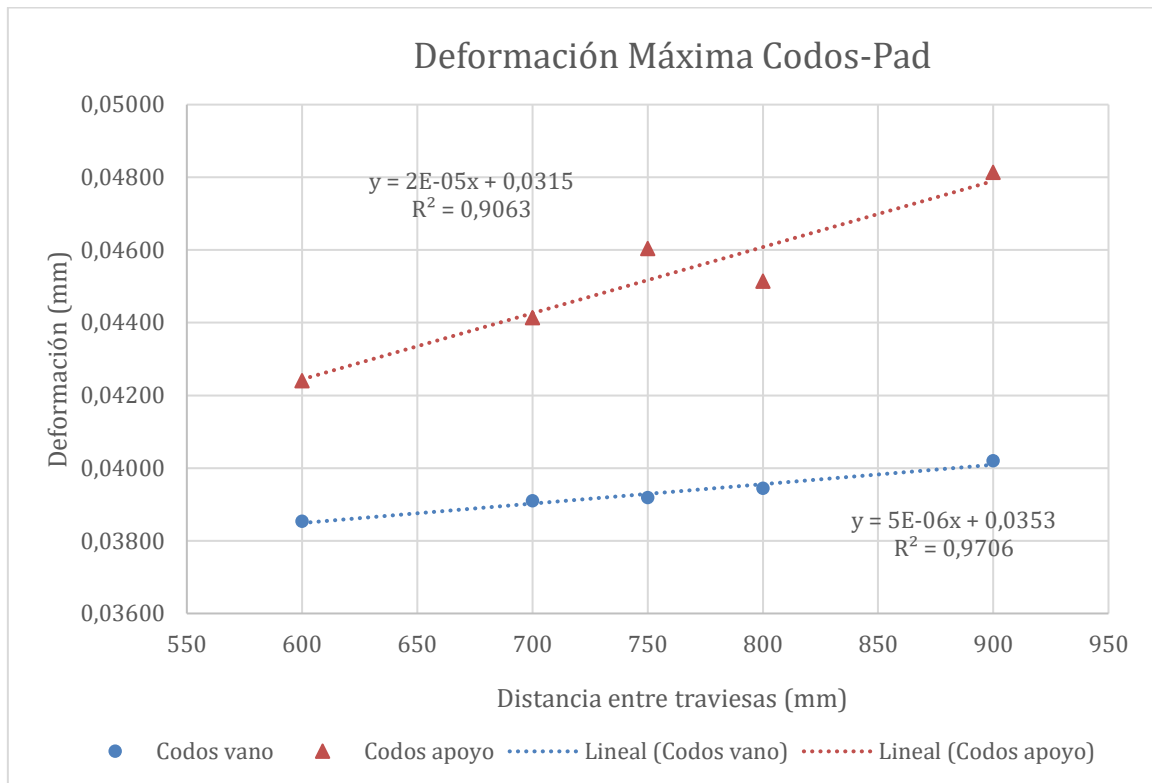


Figura 57 Gráfica Separación-Deformación de los Codos de los pads de las sujeciones

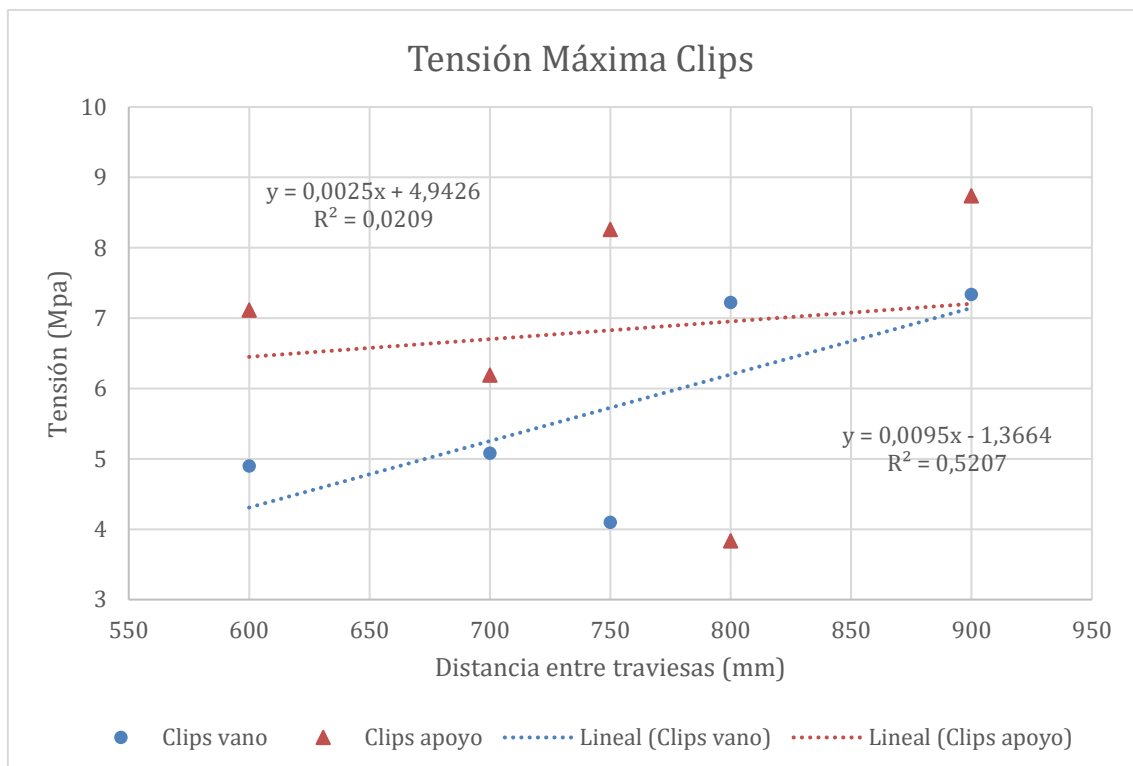


Figura 58 Gráfica Separación-Tensión de los Clips de las sujeciones

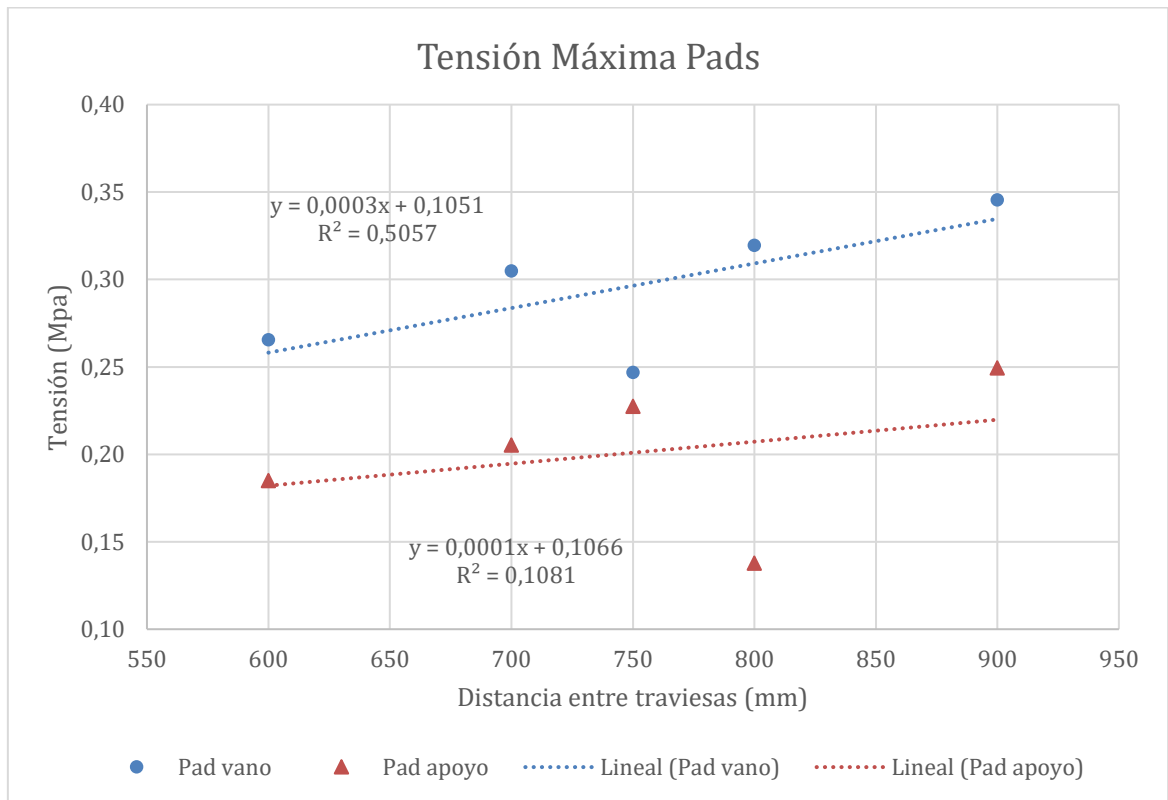


Figura 59 Gráfica Separación-Tensión de los Clips de las sujeciones

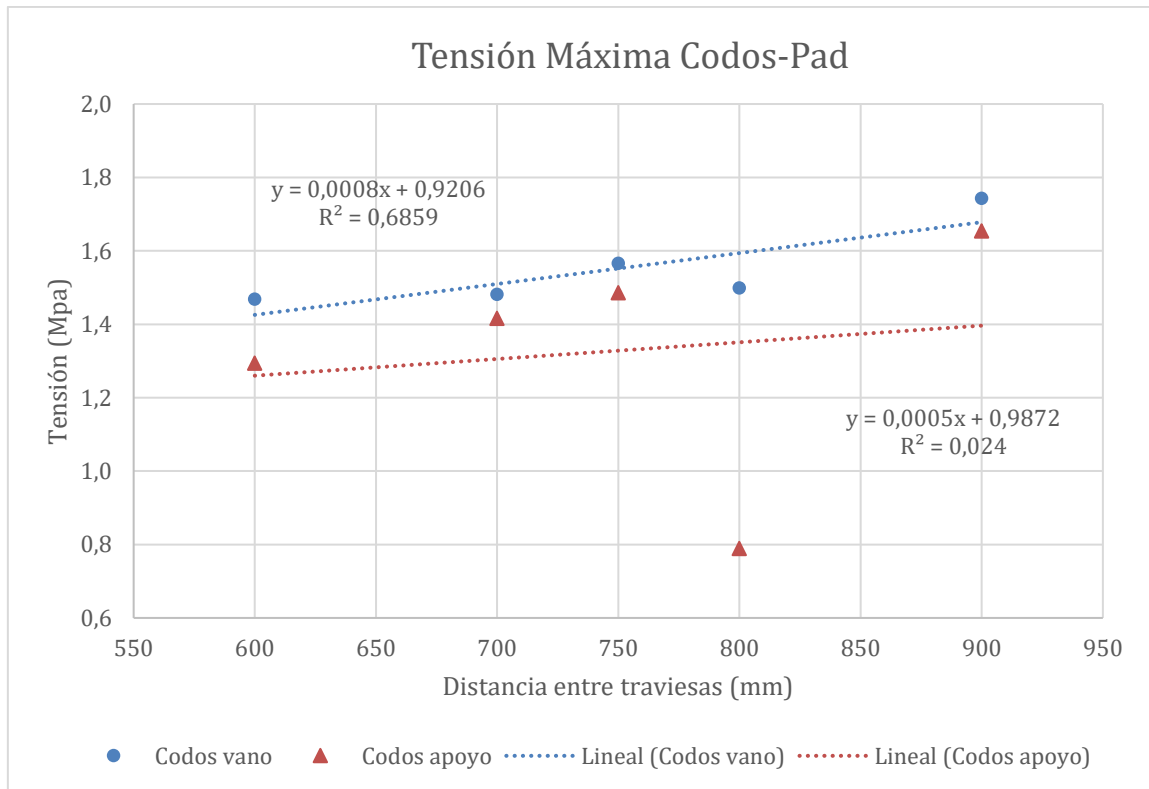


Figura 60 Gráfica Separación-Tensión de los Clips de las sujeciones

En las figuras 55, 56 y 57 se muestra la deformación/desplazamiento máximo que experimentan los elementos de estudio de las sujeciones (clips, pads y codos, respectivamente) para las diferentes distancias de separación entre apoyos. Se puede observar que el ajuste realizado es de una calidad aceptable/buena ya que su valor de R^2 es próximo a la unidad en todos los casos de estudio. Cabe destacar que en todos los casos la deformación/desplazamiento tiene valores mayores en la hipótesis de carga coincidente con la traviesa central del modelo.

A continuación, se recogen los parámetros que caracterizan las líneas de tendencia de cada serie de puntos que permitirá extrapolar y obtener nuevos datos para otras distancias entre apoyos siempre que su ajuste tenga la calidad suficiente.

Tabla 10 Parámetros línea de tendencia para graficas de deformaciones máximas

Deformación/ Desplazamiento	Carga en vano		Carga sobre traviesa	
	Ecuación línea de tendencia	R^2	Ecuación línea de tendencia	R^2
Clips	$y = 6E-06x + 0,0359$	0,9384	$y = 2E-05x + 0,0325$	0,8315
Pads	$y = 1E-05x + 0,0376$	0,8954	$y = 2E-05x + 0,034$	0,6067
Codos-Pad	$y = 5E-06x + 0,0353$	0,9706	$y = 2E-05x + 0,0315$	0,9063

En las figuras 58, 59 y 60 se muestra la tensión máxima que experimentan los elementos de estudio de las sujeciones (clips, pads y codos respectivamente) para las diferentes distancias de separación entre apoyos. Se puede observar que el ajuste realizado es de mala calidad en la mayoría de los casos ya que su valor de R^2 no se acerca a la unidad. Este problema viene dado principalmente por los datos obtenidos a partir del modelo de carga coincidente con apoyo para una separación de 800 mm. Parece que se trata de un caso singular que se debe estudiar por separado. A pesar de esto, en líneas generales, el ajuste de la línea de tendencia para las tensiones no es muy bueno, por tanto, es difícil predecir cómo van a evolucionar las tensiones en función del espaciado. Cabe destacar que los valores de tensión máxima de los pads y de los codos llegan a valores más elevados cuando la carga del eje del material rodante es coincidente con la zona entre traviesas (vano), independientemente del espaciado entre apoyos, justo lo contrario que en el resto de los casos de estudio.

En la siguiente tabla se recogen los datos correspondientes a las líneas de tendencias de cada serie de puntos que permitirá extrapolar y obtener nuevos datos para otras distancias entre apoyos siempre que su ajuste tenga la calidad suficiente.

Tabla 11 Parámetros línea de tendencia para graficas de tensiones máximas

Tensión	Carga en vano		Carga sobre traviesa	
	Ecuación línea de tendencia	R ²	Ecuación línea de tendencia	R ²
Clips	$y = 0,0095x - 1,3664$	0,5207	$y = 0,0025x + 4,9426$	0,0209
Pads	$y = 0,0003x + 0,1051$	0,5057	$y = 0,0001x + 0,1066$	0,1081
Codos-Pad	$y = 0,0008x + 0,9206$	0,6859	$y = 0,0005x + 0,9872$	0,024

Tras un análisis de máximos en los elementos de la sujeción, se ha observado una tendencia uniforme tanto para las deformaciones como para las tensiones para ambos puntos de aplicación de la carga (central en vano y sobre traviesa). La tendencia en deformaciones y tensiones es a aumentar en función del aumento de la separación entre traviesas.

Comparando los valores obtenidos con los valores de resistencia de una sujeción, se observa que la resistencia del material está muy por encima del valor máximo obtenido en la simulación.

En general los ajustes son buenos con valores de R² próximos a 1 en las deformaciones tanto de los clips como de los codos para ambos puntos de aplicación de las cargas.

En el caso de las tensiones, la tendencia es a aumentar conforme aumenta la separación. En este caso, hay una mayor dispersión que en deformaciones por lo que los valores de los ajustes son peores (R² alejado de 1). En este caso se produce una disminución considerable en la tensión en todos los elementos (clips, pads y codos) cuando la carga se sitúa sobre el apoyo (traviesa).

La deformación y la tensión en la sujeción experimenta un comportamiento aparentemente inusual cuando el punto de aplicación está sobre el apoyo (traviesa) y las traviesas están separadas una distancia de 0,8 m. La deformación y la tensión disminuyen en todos los elementos analizados (pads, clips y codos).

Se produce una disminución es más drástica en el caso de las deformaciones para el espaciado de 0,8 m. Este fenómeno induce a pensar que, para esa distancia, los demás elementos como son el carril y las traviesas contribuyen a reducir esa deformación. Esto puede ser debido a un reparto de las energías de deformación entre otros elementos como son el carril o la traviesa, liberando así deformación y la tensión sobre la sujeción. Es precisamente este hecho el que hace difícil obtener una ley de tensiones para los elementos analizados. Otra posible explicación puede estar en que se produzca una variación de la superficie de contacto entre elementos

en esta distancia y se produzca una disminución de la tensión y, por consiguiente, de la deformación en los mismos.

En una primera aproximación, a la vista de los ajustes, es que es posible predecir las deformaciones en todos los elementos de la sujeción, pero no así las tensiones. Por otro lado, parece necesario un estudio en profundidad para poder realizar nuevas hipótesis de la separación de 0,8 m (sobre apoyos) y en distancias próximas (por ejemplo, desde 0,75 m a 0,85 m).

7.1.3. Recomendaciones

A la vista de los resultados obtenidos se puede decir que el material resiste, por sus características, un aumento de la distancia hasta 0,9 m. Por lo tanto, desde el punto de vista estático, la sujeción es capaz de soportar este aumento de la separación entre traviesas.

Los resultados han permiten una formulación analítica para la predicción y estudio de tensiones y deformaciones de una sujeción ferroviaria en función del distanciamiento entre traviesas, para un caso de cargas sobre carril en vano y sobre carril en traviesa.

Así mismo se han obtenido, en general, buenas correlaciones para obtener deformaciones en función de esa distancia. Por el contrario, no ha sido así en el caso de las tensiones.

Tras este estudio parecen fiables los modelos y es posible su utilización para la predicción de las deformaciones en todos los elementos de la sujeción para un distanciamiento indicado, unas cargas (magnitud y punto de aplicación).

Por otro lado, dada la incertidumbre encontrada a una separación de 0,8 m, se recomienda afinar el estudio en las proximidades de esa distancia y refinar el modelo, es decir, realizar un mallado de los elementos más preciso.

8. Conclusiones y líneas de investigación futuras

El Trabajo Fin de Grado se ha centrado en el estudio del comportamiento mecánico de una sujeción utilizada en vías ferroviarias del tipo Vossloh SKL.

Dentro del marco del Proyecto de investigación “Distancia Optima entre Traviesas en Vías Convencionales y de Alta Velocidad” (Optimal Distance between Sleepers in Conventional and high speed TRACKs, ODSTRACK), cuya función principal es estudiar el comportamiento de los elementos de una vía ferroviaria en función del distanciamiento entre traviesas, se ha analizado de una forma estática el comportamiento de las sujeciones.

Como complemento al proyecto ODSTRACK, se ha realizado un modelo 3D de elementos finitos donde se ha analizado dos tipos de posición de una carga y cinco distanciamientos entre apoyos (traviesas). Para cada condición de cargas se han obtenido los valores máximos de tensiones y deformaciones en todos los elementos de una sujeción (pads, codos y clips).

Fundamentalmente se ha comprobado que estos elementos aguantan una separación desde 0,6 m hasta los 0,9 m de distancia entre ejes de traviesas [25] y, por otro lado, se han intentado obtener modelos de regresión para cada uno de los elementos en tensiones y deformaciones.

Respecto al análisis de deformaciones, se puede concluir que es posible predecir a través de una regresión lineal la deformación en los elementos de la sujeción en función del distanciamiento entre traviesas. No ocurre así con los valores de tensiones dada su baja correlación con el distanciamiento.

Por otro lado, se ha visto un comportamiento aparentemente anómalo de la sujeción cuando el distanciamiento es 0,8 m. En este caso, los valores de tensión y deformación disminuyen en vez de aumentar como indica la tendencia del resto de puntos estudiados.

La explicación puede estar en un reparto de las energías de deformación entre otros elementos como son el carril o la traviesa, liberando la deformación y la tensión sobre la sujeción.

Como línea de investigación próxima, se aconseja estudiar el comportamiento de forma más precisa en distancias próximas a 0,8 m, sobre todo, para el caso de carga sobre apoyo y comprobar si los demás elementos de la estructura de vía, como son la traviesa o el carril, absorben más deformación para 0,8 m de distancia.

Es necesario un estudio de laboratorio de este elemento además de los análisis numéricos propuestos, para poder comparar estos con resultados reales.

A la vista de este estudio se recomienda como líneas futuras de investigación realizar un estudio dinámico y de vibraciones para poder obtener un modelo de comportamiento más global.

9. Agradecimientos

El autor del Trabajo Fin de Grado y los directores del mismo agradecen al Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades el apoyo al proyecto SEPARACION OPTIMA ENTRE TRAVIESAS EN VIAS CONVENCIONALES Y DE ALTA VELOCIDAD “ODSTRACK” de referencia RTI2018-096809-J-I00 el cual ha servido de referencia y guía para el desarrollo de este Trabajo Fin de Grado

10. Referencias

- [1] DE GESTIÓN ADMINISTRADOR DE INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS PLIEGO GENERAL DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS TIPO PARA LOS PROYECTOS DE PLATAFORMA (PGP) TOMO IV EDICIÓN JUNIO 2011 Versión 2 ADIF
- [2] ADMINISTRADOR DE INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS Organismo Redactor: Renfe. Área de Inversiones. Gabinete de Proyectos y Normas NAV 2-1-0.1 1ª EDICIÓN: Febrero de 1983
- [3] Madenci, E., & Guven, I. (2015). *The finite element method and applications in engineering using ANSYS®*. Springer
- [4] Mundrey, J. S. (2009). *Railway track engineering*. Tata McGraw-Hill Education.
- [5] García Diaz de Villegas, José Manuel, & Universidad de Cantabria. Cátedra de Ferrocarriles. (1994). *Ferrocarriles: Apuntes de clase*. Cátedra de Ferrocarriles, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Cantabria.
- [6] Doyle, N. F. (1980). *Railway track design: a review of current practice*
- [7] El-sayed, H. M., Zohny, H. N., Riad, H. S., & Fayed, M. N. (2021). A three-dimensional finite element analysis of hormigón sleepers and fastening systems subjected to coupling vertical and lateral loads. *Engineering Failure Analysis*, 122, 105236.
- [8] <https://yasincapar.com/contact-types-and-behaviours-in-structural-analysis/>
- [9] www.ferropedia.es
- [10] Vadillo, E. G., Tárrago, J., Zubiaurre, G. G., & Duque, C. A. (1998). Effect of sleeper distance on rail corrugation. *Wear*, 217(1), 140-145.

- [11] NAMURA, A., KOHATA, Y., & MIURA, S. (2004). Effect of sleeper size on ballasted track settlement. Quarterly Report of RTRI, 45(3), 156-161.
- [12] Sañudo, R., Cerrada, M., Alonso, B., & dell'Olio, L. (2017). Analysis of the influence of support positions in transition zones. A numerical analysis. Construction and Building Materials, 145, 207-217.
- [13] Sañudo, R., Cerrada, M., Sainz, J., Carrascal, I., Casado, J.A., Diego, S. (2018) Optimal distance between sleepers, a numerical análisis. Railways 2018
- [14] Mundrey, J. S. (2009). Railway track engineering. Tata McGraw-Hill Education.
- [15] (18) Chandra, S. (2008). Railway engineering. Oxford University Press, Inc
- [16] Profillidis, V. (2016). Railway management and engineering. Routledge
- [17] Esveld, C., & Esveld, C. (2001). Modern railway track (Vol. 385). Zaltbommel: MRT-productions.
- [18] Indraratna, B., & Ngo, T. (2018). Ballast railroad design: smart-uow approach. CRC Press.
- [19] Pyrgidis, C. N. (2016). Railway transportation systems: design, construction and operation. CRC press.
- [20] Maynar, M. M., & Fernández, F. J. G. (2008). Ferrocarriles metropolitanos: tranvías, metros ligeros y metros convencionales. Colegio de Ingenieros de caminos, canales y puertos.
- [21] Jane's World Railways 1973-74, Sixteenth Edition. Henry Sampson
- [22] Lewis, R., & Olofsson, U. (Eds.). (2009). *Wheel-rail interface handbook*. Elsevier.

[23] <https://www.gurmakdemiryolu.com.tr/en/urunlerimiz/w14-ray-baglanti-sistemi/>

[24] Lázaro González, D. (2017). Análisis mediante el método de los elementos finitos de la concentración de tensiones en secciones rectangulares con reducción de sección simétrica en los laterales (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

[25] Ferreño, D., Casado, J. A., Carrascal, I. A., Diego, S., Ruiz, E., Saiz, M., ... & Cimentada, A. I. (2019). Experimental and finite element fatigue assessment of the spring clip of the SKL-1 railway fastening system. *Engineering Structures*, 188, 553-563.

[26] Highly elastic rail fastening for high speed and conventional rail-established solution for ballast track with concrete sleepers-systems W14, Vossloh Fasten.Syst. Inc. (n.d.). [Http://www.vossloh-fastening-systems.com/media/produkte/system_w_14/Vos_Produktbroschuere_W14_ENG_150925_ANSICHT.pdf](http://www.vossloh-fastening-systems.com/media/produkte/system_w_14/Vos_Produktbroschuere_W14_ENG_150925_ANSICHT.pdf).

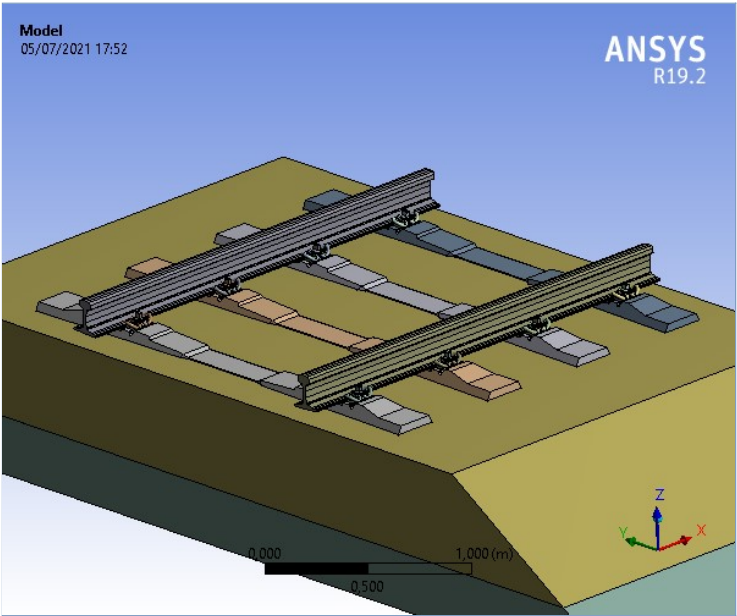
11. Anejo de datos

A continuación se muestra un ejemplo de informe obtenido a partir del programa de elementos finitos utilizado ANSYS R19.2



Project

First Saved	Tuesday, May 25, 2021
Last Saved	Tuesday, June 22, 2021
Product Version	19.2 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Modelo de 4 traviesas para separación 600 mm

Contents

- [Units](#)
- [Model \(A4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [Parts](#)
 - [Materials](#)
 - [Subbalasto](#)
 - [Balasto](#)
 - [Traviesas](#)
 - [Clip](#)
 - [Codo-Pad](#)
 - [Pad](#)
 - [Rail y Tirafondos](#)
 - [Vainas](#)
 - [Subbalasto Assignment](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Connections](#)
 - [Contacts](#)
 - [Contact Regions](#)
 - [Mesh](#)
 - [Mesh Controls](#)
 - [Named Selections](#)
 - [Static Structural \(A5\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Standard Earth Gravity](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(A6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [Traviesas](#)
 - [Pad](#)
 - [Codo-Pad](#)
 - [Rail y Tirafondos](#)
 - [Clip](#)
 - [Vainas](#)
 - [Subbalasto](#)
 - [Balasto](#)

Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Model (A4)

Geometry

TABLE 2
Model (A4) > Geometry

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
Definition	
Source	D:\MODELOS TRABAJO FIN DE GRADO Copia\ANSYS\Modelo Proyecto TFG_files\dp0\SYS\DM\SYS.scdoc
Type	SpaceClaim
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	2,42 m
Length Y	6,034 m
Length Z	1,0221 m
Properties	
Volume	9,4605 m³
Mass	16682 kg
Scale Factor Value	1,
Statistics	
Bodies	80
Active Bodies	80
Nodes	715700
Elements	374865
Mesh Metric	None
Update Options	
Assign Default Material	No
Basic Geometry Options	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes
Line Bodies	Yes
Parameters	Independent
Parameter Key	
Attributes	Yes
Attribute Key	
Named Selections	Yes

Named Selection Key	
Material Properties	Yes
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	Yes
Coordinate System Key	
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Clean Bodies On Import	No
Stitch Surfaces On Import	No
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	SYS\Solid1	SYS\Solid2	Pad 1	Codo-Pad extremo 1	SYS\Solid5	Codo-Pad extremo 2	SYS\Solid7	SYS\Solid8	SYS\Solid9	SYS\Solid10	SYS\Solid11
State	Meshed										
Graphics Properties											
Visible	Yes										
Transparency	1										
Definition											
Suppressed	No										
Stiffness Behavior	Flexible										
Coordinate System	Default Coordinate System										
Reference Temperature	By Environment										
Behavior	None										
Material											
Assignment	Traviesas	Pad		Codo-Pad				Rail y Tirafondos			
Nonlinear Effects	Yes										
Thermal Strain Effects	Yes										
Bounding Box											
Length X	0,3 m	0,18001 m		0,11 m				5,0003e-002 m			
Length Y	2,5 m	0,1599 m		8,1133e-002 m	8,1581e-002 m	8,1131e-002 m	8,1581e-002 m	5,0116e-002 m	5,7508e-002 m	5,0114e-002 m	5,8363e-002 m
Length Z	0,236 m	2,2369e-002 m		3,701e-002 m	4,158e-002 m	3,701e-002 m	4,158e-002 m	0,19616 m	0,19534 m	0,19619 m	0,19525 m
Properties											
Volume	0,1186 m³	1,7693e-004 m³		1,2971e-004 m³				8,3806e-005 m³	8,3808e-005 m³	8,3806e-005 m³	8,3807e-005 m³
Mass	272,77 kg	0,15039 kg		0,17641 kg				0,65788 kg	0,6579 kg	0,65788 kg	0,65789 kg
Centroid X	216,79 m										
Centroid Y	17,378 m	18,14 m	16,617 m	18,254 m	18,024 m	16,502 m	16,732 m	18,241 m	18,039 m	16,516 m	16,717 m
Centroid Z	-32,296 m	-32,174 m		-32,166 m	-32,177 m	-32,166 m	-32,177 m	-32,172 m	-32,182 m	-32,172 m	-32,182 m
Moment of Inertia Ip1	159,38 kg·m²	2,7738e-004 kg·m²	2,7739e-004 kg·m²	1,0761e-004 kg·m²				1,9118e-003 kg·m²			
Moment of Inertia Ip2	2,3121 kg·m²	4,7491e-004 kg·m²		1,8901e-004 kg·m²				1,909e-003 kg·m²			1,9091e-003 kg·m²
Moment of Inertia Ip3	159,81 kg·m²	7,4997e-004 kg·m²	7,4998e-004 kg·m²	2,826e-004 kg·m²				7,1596e-005 kg·m²	7,1598e-005 kg·m²		7,1599e-005 kg·m²
Statistics											
Nodes	18069	5871	5550	3627	3675	3570	3708	7676	7662	7863	7716
Elements	11372	2932	2738	1968	2000	1916	2031	4033	4026	4168	4086
Mesh Metric	None										
CAD Attributes											
PartTolerance:	0,00000001										
Color:175.143.175											
Color:159.175.143											
Color:143.143.175											
Color:175.159.143											
Color:143.175.175											
Color:175.143.159											
Color:143.175.143											
Color:159.143.175											
Color:175.175.143											
Color:143.159.175											
Color:175.143.143											

TABLE 4
Model (A4) > Geometry > Parts

Model (A4) > Geometry > Parts											
Object Name	SYS\Solid12	SYS\Solid13	SYS\Solid14	SYS\Solid15	SYS\Solid16	SYS\Solid17	SYS\Solid18	SYS\Solid19	SYS\Solid20	SYS\Solid21	SYS\Solid22
State	Meshed										
Graphics Properties											
Visible	Yes										
Transparency	1										
Definition											
Suppressed	No										
Stiffness Behavior	Flexible										
Coordinate System	Default Coordinate System										
Reference Temperature	By Environment										
Behavior	None										
Material											
Assignment	Clip				Vainas				Traviesas	Pad	
Nonlinear Effects	Yes										
Thermal Strain Effects	Yes										

Bounding Box											
Length X	0,16299 m				3,5995e-002 m				0,3 m	0,17999 m	
Length Y	8,5499e-002 m	8,7675e-002 m	8,5501e-002 m	8,7673e-002 m	3,7304e-002 m	4,9501e-002 m	4,9923e-002 m	3,7069e-002 m	2,5 m	0,1599 m	
Length Z	4,4449e-002 m	4,0401e-002 m	4,4449e-002 m	4,0401e-002 m	0,14204 m	0,14385 m		0,14204 m	0,236 m	2,2369e-002 m	
Properties											
Volume	6,4354e-005 m³	6,4364e-005 m³	6,4355e-005 m³	6,4364e-005 m³	3,2552e-005 m³	3,2554e-005 m³	3,2559e-005 m³	3,2553e-005 m³	0,1186 m³	1,7693e-004 m³	
Mass	0,50196 kg	0,50204 kg	0,50197 kg	0,50204 kg	3,0925e-002 kg	3,0927e-002 kg	3,0931e-002 kg	3,0925e-002 kg	272,77 kg	0,15039 kg	
Centroid X	216,79 m								217,39 m		
Centroid Y	18,04 m	16,52 m	16,717 m	18,237 m	18,238 m	18,049 m	16,707 m	16,518 m	17,378 m	18,14 m	16,617 m
Centroid Z	-32,154 m	-32,144 m	-32,154 m	-32,144 m	-32,244 m	-32,253 m		-32,244 m	-32,296 m	-32,174 m	
Moment of Inertia Ip1	3,9487e-004 kg·m²	3,9488e-004 kg·m²	3,9487e-004 kg·m²	3,9488e-004 kg·m²	6,0332e-005 kg·m²	6,0301e-005 kg·m²	6,0314e-005 kg·m²	6,0326e-005 kg·m²	159,38 kg·m²	2,7736e-004 kg·m²	
Moment of Inertia Ip2	1,145e-003 kg·m²	1,1451e-003 kg·m²	1,145e-003 kg·m²	1,1451e-003 kg·m²	6,0307e-005 kg·m²	6,0277e-005 kg·m²	6,029e-005 kg·m²	6,0302e-005 kg·m²	2,3122 kg·m²	4,7478e-004 kg·m²	
Moment of Inertia Ip3	1,487e-003 kg·m²	1,4871e-003 kg·m²	1,487e-003 kg·m²	1,4871e-003 kg·m²	4,5655e-006 kg·m²	4,5635e-006 kg·m²	4,5643e-006 kg·m²	4,5651e-006 kg·m²	159,81 kg·m²	7,4982e-004 kg·m²	
Statistics											
Nodes	2187	2176	2078	2139	16302	16678	17036	16028	17974	5867	5543
Elements	993	988	927	966	8612	8879	9138	8442	11307	2931	2731
Mesh Metric	None										
CAD Attributes											
PartTolerance:	0,00000001										
Color:143.175.159											
Color:175.143.175											
Color:159.175.143											
Color:143.143.175											
Color:175.159.143											
Color:143.175.175											
Color:175.143.159											
Color:143.175.143											
Color:159.143.175											
Color:175.175.143											
Color:143.159.175											

TABLE 5
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	SYS\Solid23	Codo-Pad vano	SYS\Solid25	SYS\Solid26	SYS\Solid27	SYS\Solid28	SYS\Solid29	SYS\Solid30	SYS\Solid31	SYS\Solid32	SYS\Solid33
State	Meshed										
Graphics Properties											
Visible	Yes										
Transparency	1										
Definition											
Suppressed	No										
Stiffness Behavior	Flexible										
Coordinate System	Default Coordinate System										
Reference Temperature Behavior	By Environment										
	None										
Material											
Assignment	Codo-Pad				Rail y Tirafondos				Clip		
Nonlinear Effects	Yes										
Thermal Strain Effects	Yes										
Bounding Box											
Length X	0,11 m				5,0003e-002 m				0,16299 m		
Length Y	8,1133e-002 m	8,1581e-002 m	8,1131e-002 m	8,1581e-002 m	5,0116e-002 m	5,7508e-002 m	5,0114e-002 m	5,8363e-002 m	8,5499e-002 m	8,7675e-002 m	8,5501e-002 m
Length Z	3,701e-002 m	4,158e-002 m	3,701e-002 m	4,158e-002 m	0,19616 m	0,19534 m	0,19619 m	0,19525 m	4,4449e-002 m	4,0401e-002 m	4,4449e-002 m
Properties											
Volume	1,2971e-004 m³				8,3806e-005 m³	8,3808e-005 m³	8,3806e-005 m³	8,3807e-005 m³	6,4354e-005 m³	6,4364e-005 m³	6,4354e-005 m³
Mass	0,17641 kg				0,65788 kg	0,6579 kg	0,65788 kg	0,65789 kg	0,50196 kg	0,50204 kg	0,50196 kg
Centroid X	217,39 m										
Centroid Y	18,254 m	18,024 m	16,502 m	16,732 m	18,241 m	18,039 m	16,516 m	16,717 m	18,04 m	16,52 m	16,717 m
Centroid Z	-32,166 m	-32,177 m	-32,166 m	-32,177 m	-32,172 m	-32,182 m	-32,172 m	-32,182 m	-32,154 m	-32,144 m	-32,154 m
Moment of Inertia Ip1	1,0761e-004 kg·m²				1,9119e-003 kg·m²				3,9488e-004 kg·m²	3,9489e-004 kg·m²	3,9487e-004 kg·m²
Moment of Inertia Ip2	1,8901e-004 kg·m²				1,9091e-003 kg·m²			1,9092e-003 kg·m²	1,145e-003 kg·m²	1,1451e-003 kg·m²	1,145e-003 kg·m²
Moment of Inertia Ip3	2,826e-004 kg·m²				7,1605e-005 kg·m²	7,1607e-005 kg·m²	7,1606e-005 kg·m²	7,1608e-005 kg·m²	1,487e-003 kg·m²		
Statistics											
Nodes	3637	3642	3564	3705	7657	7672	7725	7650	2182	2158	2084
Elements	1976	1975	1913	2028	4021	4032	4073	4035	990	976	929
Mesh Metric	None										
CAD Attributes											
PartTolerance:	0,00000001										
Color:175.143.143											
Color:143.175.159											
Color:175.143.175											
Color:159.175.143											
Color:143.143.175											
Color:175.159.143											
Color:143.175.175											
Color:175.143.159											
Color:143.175.143											
Color:159.143.175											

Color:175.175.143

TABLE 6
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	SYS\Solid34	SYS\Solid35	SYS\Solid36	SYS\Solid37	SYS\Solid38	SYS\Solid39	SYS\Solid40	Pad Vano	SYS\Solid42	SYS\Solid43	SYS\Solid44
State	Meshed										
Graphics Properties											
Visible	Yes										
Transparency	1										
Definition											
Suppressed	No										
Stiffness Behavior	Flexible										
Coordinate System	Default Coordinate System										
Reference Temperature	By Environment										
Behavior	None										
Material											
Assignment	Clip	Vainas				Traviesas	Pad		Codo-Pad		
Nonlinear Effects	Yes										
Thermal Strain Effects	Yes										
Bounding Box											
Length X	0,16299 m	3,6011e-002 m				0,3 m	0,18001 m		0,11 m		
Length Y	8,7673e-002 m	3,7304e-002 m	4,9501e-002 m	4,9923e-002 m	3,7069e-002 m	2,5 m	0,1599 m		8,1133e-002 m	8,1581e-002 m	8,1131e-002 m
Length Z	4,0401e-002 m	0,14204 m	0,14385 m		0,14204 m	0,236 m	2,2369e-002 m		3,701e-002 m	4,158e-002 m	3,701e-002 m
Properties											
Volume	6,4363e-005 m³	3,2552e-005 m³	3,2555e-005 m³	3,2559e-005 m³	3,2553e-005 m³	0,1186 m³	1,7693e-004 m³		1,2971e-004 m³		
Mass	0,50203 kg	3,0925e-002 kg	3,0927e-002 kg	3,0931e-002 kg	3,0925e-002 kg	272,77 kg	0,15039 kg		0,17641 kg		
Centroid X	217,39 m					217,99 m					
Centroid Y	18,237 m	18,238 m	18,049 m	16,707 m	16,518 m	17,378 m	18,14 m	16,617 m	18,254 m	18,024 m	16,502 m
Centroid Z	-32,144 m	-32,244 m	-32,253 m		-32,244 m	-32,296 m	-32,174 m		-32,166 m	-32,177 m	-32,166 m
Moment of Inertia Ip1	3,9488e-004 kg·m²	6,0331e-005 kg·m²	6,0296e-005 kg·m²	6,0311e-005 kg·m²	6,0325e-005 kg·m²	159,38 kg·m²	2,7739e-004 kg·m²	2,7738e-004 kg·m²	1,0761e-004 kg·m²		
Moment of Inertia Ip2	1,145e-003 kg·m²	6,0307e-005 kg·m²	6,0272e-005 kg·m²	6,0287e-005 kg·m²	6,0301e-005 kg·m²	2,3121 kg·m²	4,749e-004 kg·m²		1,8901e-004 kg·m²		
Moment of Inertia Ip3	1,487e-003 kg·m²	4,5656e-006 kg·m²	4,5629e-006 kg·m²	4,5642e-006 kg·m²	4,5651e-006 kg·m²	159,81 kg·m²	7,4997e-004 kg·m²	7,4996e-004 kg·m²	2,826e-004 kg·m²		
Statistics											
Nodes	2114	16317	16683	17020	16084	18153	5866	5567	3626	3668	3765
Elements	943	8625	8882	9124	8482	11443	2931	2748	1967	1995	2064
Mesh Metric	None										
CAD Attributes											
PartTolerance:	0,00000001										
Color:143.159.175											
Color:175.143.143											
Color:143.175.159											
Color:175.143.175											
Color:159.175.143											
Color:143.143.175											
Color:175.159.143											
Color:143.175.175											
Color:175.143.159											
Color:143.175.143											
Color:159.143.175											

TABLE 7
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	Codo-Pad Vano	SYS\Solid46	SYS\Solid47	SYS\Solid48	SYS\Solid49	SYS\Solid50	SYS\Solid51	Clip Vano	SYS\Solid53	SYS\Solid54	SYS\Solid55
State	Meshed										
Graphics Properties											
Visible	Yes										
Transparency	1										
Definition											
Suppressed	No										
Stiffness Behavior	Flexible										
Coordinate System	Default Coordinate System										
Reference Temperature	By Environment										
Behavior	None										
Material											
Assignment	Codo-Pad	Rail y Tirafondos					Clip			Vainas	
Nonlinear Effects	Yes										
Thermal Strain Effects	Yes										
Bounding Box											
Length X	0,11 m	5,0003e-002 m				0,16301 m			3,5995e-002 m		
Length Y	8,1581e-002 m	5,0116e-002 m	5,7508e-002 m	5,0114e-002 m	5,8363e-002 m	8,5499e-002 m	8,7675e-002 m	8,5501e-002 m	8,7673e-002 m	3,7304e-002 m	4,9501e-002 m
Length Z	4,158e-002 m	0,19616 m	0,19534 m	0,19619 m	0,19525 m	4,4449e-002 m	4,0401e-002 m	4,4449e-002 m	4,0401e-002 m	0,14204 m	0,14385 m
Properties											
Volume	1,2971e-004 m³	8,3806e-005 m³	8,3808e-005 m³	8,3806e-005 m³	8,3807e-005 m³	6,4355e-005 m³	6,4364e-005 m³	6,4354e-005 m³	6,4364e-005 m³	3,2552e-005 m³	3,2555e-005 m³
Mass	0,17641 kg	0,65788 kg	0,6579 kg	0,65788 kg	0,65789 kg	0,50197 kg	0,50204 kg	0,50196 kg	0,50204 kg	3,0925e-002 kg	3,0927e-002 kg
Centroid X	217,99 m										

Centroid Y	16,732 m	18,241 m	18,039 m	16,516 m	16,717 m	18,04 m	16,52 m	16,717 m	18,237 m	18,238 m	18,049 m
Centroid Z	-32,177 m	-32,172 m	-32,182 m	-32,172 m	-32,182 m	-32,154 m	-32,144 m	-32,154 m	-32,144 m	-32,244 m	-32,253 m
Moment of Inertia Ip1	1,0761e-004 kg·m²	1,9118e-003 kg·m²			1,9119e-003 kg·m²	3,9485e-004 kg·m²	3,9486e-004 kg·m²	3,9485e-004 kg·m²	3,9486e-004 kg·m²	6,0323e-005 kg·m²	6,0318e-005 kg·m²
Moment of Inertia Ip2	1,8901e-004 kg·m²	1,9091e-003 kg·m²				1,145e-003 kg·m²	1,1451e-003 kg·m²	1,145e-003 kg·m²		6,0299e-005 kg·m²	6,0294e-005 kg·m²
Moment of Inertia Ip3	2,826e-004 kg·m²	7,1599e-005 kg·m²	7,1601e-005 kg·m²		7,1602e-005 kg·m²	1,487e-003 kg·m²				4,5651e-006 kg·m²	4,5646e-006 kg·m²
Statistics											
Nodes	3707	7705	7652	7771	7670	2161	2162	2086	2123	16297	16683
Elements	2030	4051	4020	4106	4049	973	977	933	954	8610	8882
Mesh Metric	None										
CAD Attributes											
PartTolerance:	0,00000001										
Color:175.175.143											
Color:143.159.175											
Color:175.143.143											
Color:143.175.159											
Color:175.143.175											
Color:159.175.143											
Color:143.143.175											
Color:175.159.143											
Color:143.175.175											
Color:175.143.159											
Color:143.175.143											

TABLE 8
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	SYS\Solid56	SYS\Solid57	SYS\Solid58	SYS\Solid59	Pad exterior	Codo-Pad exterior	SYS\Solid62	SYS\Solid63	SYS\Solid64	SYS\Solid65	SYS\Solid66
State	Meshed										
Graphics Properties											
Visible	Yes										
Transparency	1										
Definition											
Suppressed	No										
Stiffness Behavior	Flexible										
Coordinate System	Default Coordinate System										
Reference Temperature	By Environment										
Behavior	None										
Material											
Assignment	Vainas		Traviesas	Pad		Codo-Pad				Rail y Tirafondos	
Nonlinear Effects	Yes										
Thermal Strain Effects	Yes										
Bounding Box											
Length X	3,5995e-002 m		0,29999 m	0,17999 m		0,11 m				4,9988e-002 m	
Length Y	4,9923e-002 m	3,7069e-002 m	2,5 m	0,1599 m		8,1133e-002 m	8,1581e-002 m	8,1131e-002 m	8,1581e-002 m	5,0116e-002 m	5,7508e-002 m
Length Z	0,14385 m	0,14204 m	0,236 m	2,2369e-002 m		3,701e-002 m	4,158e-002 m	3,701e-002 m	4,158e-002 m	0,19616 m	0,19534 m
Properties											
Volume	3,2559e-005 m³	3,2553e-005 m³	0,1186 m³	1,7693e-004 m³		1,2971e-004 m³				8,3806e-005 m³	8,3808e-005 m³
Mass	3,0931e-002 kg	3,0925e-002 kg	272,77 kg	0,15039 kg		0,17641 kg				0,65788 kg	0,6579 kg
Centroid X	217,99 m		218,59 m								
Centroid Y	16,707 m	16,518 m	17,378 m	18,14 m	16,617 m	18,254 m	18,024 m	16,502 m	16,732 m	18,241 m	18,039 m
Centroid Z	-32,253 m	-32,244 m	-32,296 m	-32,174 m		-32,166 m	-32,177 m	-32,166 m	-32,177 m	-32,172 m	-32,182 m
Moment of Inertia Ip1	6,0299e-005 kg·m²	6,0333e-005 kg·m²	159,37 kg·m²	2,7736e-004 kg·m²		1,0761e-004 kg·m²				1,9119e-003 kg·m²	
Moment of Inertia Ip2	6,0275e-005 kg·m²	6,0309e-005 kg·m²	2,3119 kg·m²	4,7479e-004 kg·m²		1,8901e-004 kg·m²				1,9091e-003 kg·m²	
Moment of Inertia Ip3	4,5634e-006 kg·m²	4,5654e-006 kg·m²	159,8 kg·m²	7,4983e-004 kg·m²		2,826e-004 kg·m²				7,1611e-005 kg·m²	7,1612e-005 kg·m²
Statistics											
Nodes	17009	16058	18136	5834	5535	3650	3658	3637	3584	7623	7554
Elements	9117	8464	11423	2907	2720	1985	1987	1968	1935	3994	3944
Mesh Metric	None										
CAD Attributes											
PartTolerance:	0,00000001										
Color:159.143.175											
Color:175.175.143											
Color:143.159.175											
Color:175.143.143											
Color:143.175.159											
Color:175.143.175											
Color:159.175.143											
Color:143.143.175											
Color:175.159.143											
Color:143.175.175											
Color:175.143.159											

TABLE 9
Model (A4) > Geometry > Parts

Model (A4) > Geometry > Parts											
Object Name	SYS\Solid67	SYS\Solid68	SYS\Solid69	SYS\Solid70	Clip exterior	Clip exterior 2	SYS\Solid73	SYS\Solid74	SYS\Solid75	SYS\Solid76	SubBalasto
State	Meshed										
Graphics Properties											
Visible	Yes										
Transparency	1										
Definition											
Suppressed	No										

Stiffness Behavior	Flexible										
Coordinate System	Default Coordinate System										
Reference Temperature	By Environment										
Behavior	None										
Material											
Assignment	Rail y Tirafondos		Clip				Vainas				Subbalasto
Nonlinear Effects	Yes										
Thermal Strain Effects	Yes										
Bounding Box											
Length X	4,9988e-002 m		0,16299 m				3,6011e-002 m				2,42 m
Length Y	5,0114e-002 m	5,8363e-002 m	8,5499e-002 m	8,7675e-002 m	8,5501e-002 m	8,7673e-002 m	3,7304e-002 m	4,9501e-002 m	4,9923e-002 m	3,7069e-002 m	6,034 m
Length Z	0,19619 m	0,19525 m	4,4449e-002 m	4,0401e-002 m	4,4449e-002 m	4,0401e-002 m	0,14204 m	0,14385 m		0,14204 m	0,3 m
Properties											
Volume	8,3806e-005 m³	8,3807e-005 m³	6,4355e-005 m³	6,4364e-005 m³	6,4355e-005 m³	6,4364e-005 m³	3,2552e-005 m³	3,2555e-005 m³	3,2559e-005 m³	3,2553e-005 m³	4,054 m³
Mass	0,65788 kg	0,65789 kg	0,50197 kg	0,50204 kg	0,50197 kg	0,50204 kg	3,0925e-002 kg	3,0927e-002 kg	3,0931e-002 kg	3,0925e-002 kg	6486,4 kg
Centroid X	218,59 m										
Centroid Y	16,516 m	16,717 m	18,04 m	16,52 m	16,717 m	18,237 m	18,238 m	18,049 m	16,707 m	16,518 m	17,378 m
Centroid Z	-32,172 m	-32,182 m	-32,154 m	-32,144 m	-32,154 m	-32,144 m	-32,244 m	-32,253 m		-32,244 m	-32,874 m
Moment of Inertia Ip1	1,9119e-003 kg·m²		3,9487e-004 kg·m²	3,9488e-004 kg·m²	3,9486e-004 kg·m²	3,9488e-004 kg·m²	6,0329e-005 kg·m²	6,0305e-005 kg·m²	6,0291e-005 kg·m²	6,0322e-005 kg·m²	17012 kg·m²
Moment of Inertia Ip2	1,9091e-003 kg·m²	1,9092e-003 kg·m²	1,145e-003 kg·m²				6,0305e-005 kg·m²	6,028e-005 kg·m²	6,0267e-005 kg·m²	6,0298e-005 kg·m²	3214,1 kg·m²
Moment of Inertia Ip3	7,1613e-005 kg·m²		1,487e-003 kg·m²				4,5653e-006 kg·m²	4,5637e-006 kg·m²	4,5629e-006 kg·m²	4,5651e-006 kg·m²	20129 kg·m²
Statistics											
Nodes	7796	7656	2169	2164	2090	2136	16307	16708	17006	16045	40128
Elements	4124	4044	982	981	938	962	8616	8907	9114	8453	8550
Mesh Metric	None										
CAD Attributes											
PartTolerance:	0,00000001										
Color:143.175.143											
Color:159.143.175											
Color:175.175.143											
Color:143.159.175											
Color:175.143.143											
Color:143.175.159											
Color:175.143.175											
Color:159.175.143											
Color:143.143.175											
Color:175.159.143											
Color:143.175.175											

TABLE 10
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	SYS\Solid78		Rail	SYS\Solid80
State	Meshed			
Graphics Properties				
Visible	Yes			
Transparency	1			
Definition				
Suppressed	No			
Stiffness Behavior	Flexible			
Coordinate System	Default Coordinate System			
Reference Temperature	By Environment			
Behavior	None			
Material				
Assignment	Balasto	Rail y Tirafondos		
Nonlinear Effects	Yes			
Thermal Strain Effects	Yes			
Bounding Box				
Length X	2,42 m	2,32 m		
Length Y	5,134 m	0,15011 m		
Length Z	0,5 m	0,17578 m		
Properties				
Volume	4,8902 m³	1,7798e-002 m³		
Mass	8802,3 kg	139,71 kg		
Centroid X	217,69 m			
Centroid Y	17,378 m	18,135 m	16,621 m	
Centroid Z	-32,499 m	-32,089 m		
Moment of Inertia Ip1	15493 kg·m²	0,64661 kg·m²	0,6466 kg·m²	
Moment of Inertia Ip2	4490,8 kg·m²	63,26 kg·m²		
Moment of Inertia Ip3	19642 kg·m²	62,8 kg·m²		
Statistics				
Nodes	65843	5862	5961	
Elements	43453	1176	1200	
Mesh Metric	None			
CAD Attributes				
PartTolerance:	0,00000001			
Color:175.143.159				
Color:143.175.143				
Color:159.143.175				

TABLE 11
Model (A4) > Materials > Subbalasto Assignment

Model (A4) - Materials - Subbalasto Assignment									
Object Name	Subbalasto Assignment	Balasto Assignment	Traviesas Assignment	Clip Assignment	Codo-Pad Assignment	Pad Assignment	Rail y Tirafondos Assignment	Rail y Tirafondos Assignment 2	Vainas Assignment
State	Fully Defined								
General									

Scoping Method	Named Selection								
Named Selection	SubBalasto	Balasto	Traviesas	Clips	Codos-Pad	Pads	Railes	Tirafondos	Vainas
Definition									
Material	Subbalasto	Balasto	Traviesas	Clip	Codo-Pad	Pad	Rail y Tirafondos		Vainas
Nonlinear Effects	Yes								
Thermal Strain Effects	Yes								
Reference Temperature	By Environment								
Suppressed	No								

Coordinate Systems

TABLE 12
Model (A4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	Global Coordinate System
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0,
Origin	
Origin X	0, m
Origin Y	0, m
Origin Z	0, m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1, 0, 0,]
Y Axis Data	[0, 1, 0,]
Z Axis Data	[0, 0, 1,]

Connections

TABLE 13
Model (A4) > Connections

Object Name	Connections
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
Transparency	
Enabled	Yes

TABLE 14
Model (A4) > Connections > Contacts

Object Name	Contacts
State	Fully Defined
Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Auto Detection	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0,
Tolerance Value	1,6453e-002 m
Use Range	No
Face/Face	Yes
Face Overlap Tolerance	Off
Cylindrical Faces	Include
Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies
Statistics	
Connections	255
Active Connections	255

TABLE 15
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region	Contact Region 2	Contact Region 3	Contact Region 4	Contact Region 5	Contact Region 6	Contact Region 7	Contact Region 8	Contact Region 9	Contact Region 10	Contact Region 11	
State	Fully Defined											
Scope												
Scoping Method	Geometry Selection											
Contact	3 Faces		8 Faces	7 Faces	8 Faces	7 Faces	3 Faces			1 Face		
Target	7 Faces			6 Faces	7 Faces	6 Faces	4 Faces				6 Faces	
Contact Bodies	SYS\Solid1											
Target Bodies	SYS\Solid2	Pad 1	Codo-Pad extremo 1	SYS\Solid5	Codo-Pad extremo 2	SYS\Solid7	SYS\Solid8	SYS\Solid9	SYS\Solid10	SYS\Solid11	SYS\Solid12	
Protected	No											
Definition												
Type	Bonded											
Scope Mode	Automatic											
Behavior	Program Controlled											
Trim Contact	Program Controlled											
Trim Tolerance	1,6453e-002 m											
Suppressed	No											
Advanced												
Formulation	Program Controlled											
Small Sliding	Program Controlled											
Detection Method	Program Controlled											
Penetration Tolerance	Program Controlled											

Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled
Geometric Modification	
Contact Geometry Correction	None
Target Geometry Correction	None

TABLE 16
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 12	Contact Region 13	Contact Region 14	Contact Region 15	Contact Region 16	Contact Region 17	Contact Region 18	Contact Region 19	Contact Region 20	Contact Region 21	Contact Region 22	
State	Fully Defined											
Scope												
Scoping Method	Geometry Selection											
Contact	2 Faces	1 Face	2 Faces	4 Faces				17 Faces	1 Face		9 Faces	
Target	6 Faces			12 Faces				17 Faces	3 Faces			
Contact Bodies	SYS\Solid1											SYS\Solid2
Target Bodies	SYS\Solid13	SYS\Solid14	SYS\Solid15	SYS\Solid16	SYS\Solid17	SYS\Solid18	SYS\Solid19	SYS\Solid78	Rail	SYS\Solid80	Codo-Pad extremo 1	
Protected	No											
Definition												
Type	Bonded											
Scope Mode	Automatic											
Behavior	Program Controlled											
Trim Contact	Program Controlled											
Trim Tolerance	1,6453e-002 m											
Suppressed	No											
Advanced												
Formulation	Program Controlled											
Small Sliding	Program Controlled											
Detection Method	Program Controlled											
Penetration Tolerance	Program Controlled											
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled											
Normal Stiffness	Program Controlled											
Update Stiffness	Program Controlled											
Pinball Region	Program Controlled											
Geometric Modification												
Contact Geometry Correction	None											
Target Geometry Correction	None											

TABLE 17
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 23	Contact Region 24	Contact Region 25	Contact Region 26	Contact Region 27	Contact Region 28	Contact Region 29	Contact Region 30	Contact Region 31	Contact Region 32	Contact Region 33
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	9 Faces	1 Face			3 Faces			9 Faces		1 Face	
Target	3 Faces	1 Face		4 Faces			3 Faces		1 Face		4 Faces
Contact Bodies	SYS\Solid2						Pad 1				
Target Bodies	SYS\Solid5	SYS\Solid8	SYS\Solid9	SYS\Solid12	SYS\Solid15	Rail	Codo-Pad extremo 2	SYS\Solid7	SYS\Solid10	SYS\Solid11	SYS\Solid13
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1.6453e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 18
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 34	Contact Region 35	Contact Region 36	Contact Region 37	Contact Region 38	Contact Region 39	Contact Region 40	Contact Region 41	Contact Region 42	Contact Region 43	Contact Region 44
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	1 Face	3 Faces	4 Faces	11 Faces	2 Faces	1 Face	4 Faces	11 Faces	2 Faces	1 Face	4 Faces
Target	4 Faces	3 Faces	2 Faces	22 Faces	1 Face	3 Faces	2 Faces	22 Faces	1 Face	3 Faces	2 Faces
Contact Bodies	Pad 1		Codo-Pad extremo 1				SYS\Solid5				Codo-Pad extremo 2
Target Bodies	SYS\Solid14	SYS\Solid80	SYS\Solid8	SYS\Solid15	SYS\Solid16	Rail	SYS\Solid9	SYS\Solid12	SYS\Solid17	Rail	SYS\Solid10
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,6453e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 19
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 45	Contact Region 46	Contact Region 47	Contact Region 48	Contact Region 49	Contact Region 50	Contact Region 51	Contact Region 52	Contact Region 53	Contact Region 54	Contact Region 55
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	11 Faces	2 Faces	1 Face	4 Faces	11 Faces	2 Faces	1 Face	3 Faces	6 Faces	2 Faces	6 Faces
Target	22 Faces	1 Face	3 Faces	2 Faces	22 Faces	1 Face	3 Faces	10 Faces			
Contact Bodies	Codo-Pad extremo 2			SYS\Solid7				SYS\Solid8		SYS\Solid9	
Target Bodies	SYS\Solid13	SYS\Solid19	SYS\Solid80	SYS\Solid11	SYS\Solid14	SYS\Solid18	SYS\Solid80	SYS\Solid15	SYS\Solid16	SYS\Solid12	SYS\Solid17
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,6453e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 20
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions											
Object Name	Contact Region 56	Contact Region 57	Contact Region 58	Contact Region 59	Contact Region 60	Contact Region 61	Contact Region 62	Contact Region 63	Contact Region 64	Contact Region 65	Contact Region 66
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	2 Faces	6 Faces	2 Faces	6 Faces	8 Faces				3 Faces		8 Faces
Target	10 Faces			11 Faces		2 Faces			7 Faces		

Contact Bodies	SYS\Solid10		SYS\Solid11		SYS\Solid12	SYS\Solid13	SYS\Solid14	SYS\Solid15	SYS\Solid20		
Target Bodies	SYS\Solid13	SYS\Solid19	SYS\Solid14	SYS\Solid18	Rail	SYS\Solid80		Rail	SYS\Solid21	SYS\Solid22	SYS\Solid23
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,6453e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 21
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 67	Contact Region 68	Contact Region 69	Contact Region 70	Contact Region 71	Contact Region 72	Contact Region 73	Contact Region 74	Contact Region 75	Contact Region 76	Contact Region 77
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	7 Faces	8 Faces	7 Faces	3 Faces				1 Face	2 Faces	1 Face	2 Faces
Target	6 Faces	7 Faces	6 Faces	4 Faces				6 Faces			
Contact Bodies	SYS\Solid20										
Target Bodies	Codo-Pad vano	SYS\Solid25	SYS\Solid26	SYS\Solid27	SYS\Solid28	SYS\Solid29	SYS\Solid30	SYS\Solid31	SYS\Solid32	SYS\Solid33	SYS\Solid34
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1.6453e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 22
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 78	Contact Region 79	Contact Region 80	Contact Region 81	Contact Region 82	Contact Region 83	Contact Region 84	Contact Region 85	Contact Region 86	Contact Region 87	Contact Region 88
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	4 Faces				17 Faces	1 Face	9 Faces			1 Face	
Target	12 Faces				17 Faces	3 Faces				1 Face	
Contact Bodies	SYS\Solid20						SYS\Solid21				
Target Bodies	SYS\Solid35	SYS\Solid36	SYS\Solid37	SYS\Solid38	SYS\Solid78	Rail	SYS\Solid80	SYS\Solid23	Codo-Pad vano	SYS\Solid27	SYS\Solid28
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										

Trim Contact	Program Controlled
Trim Tolerance	1,6453e-002 m
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Program Controlled
Small Sliding	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Penetration Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled
Geometric Modification	
Contact Geometry Correction	None
Target Geometry Correction	None

TABLE 23
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 89	Contact Region 90	Contact Region 91	Contact Region 92	Contact Region 93	Contact Region 94	Contact Region 95	Contact Region 96	Contact Region 97	Contact Region 98	Contact Region 99	
State	Fully Defined											
Scope												
Scoping Method	Geometry Selection											
Contact	1 Face		3 Faces	9 Faces		1 Face				3 Faces	4 Faces	
Target	4 Faces		3 Faces		1 Face		4 Faces		3 Faces	2 Faces		
Contact Bodies	SYS\Solid21			SYS\Solid22								SYS\Solid23
Target Bodies	SYS\Solid31	SYS\Solid34	Rail	SYS\Solid25	SYS\Solid26	SYS\Solid29	SYS\Solid30	SYS\Solid32	SYS\Solid33	SYS\Solid80	SYS\Solid27	
Protected	No											
Definition												
Type	Bonded											
Scope Mode	Automatic											
Behavior	Program Controlled											
Trim Contact	Program Controlled											
Trim Tolerance	1,6453e-002 m											
Suppressed	No											
Advanced												
Formulation	Program Controlled											
Small Sliding	Program Controlled											
Detection Method	Program Controlled											
Penetration Tolerance	Program Controlled											
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled											
Normal Stiffness	Program Controlled											
Update Stiffness	Program Controlled											
Pinball Region	Program Controlled											
Geometric Modification												
Contact Geometry Correction	None											
Target Geometry Correction	None											

TABLE 24
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions											
Object Name	Contact Region 100	Contact Region 101	Contact Region 102	Contact Region 103	Contact Region 104	Contact Region 105	Contact Region 106	Contact Region 107	Contact Region 108	Contact Region 109	Contact Region 110
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	10 Faces	2 Faces	1 Face	4 Faces	10 Faces	2 Faces	1 Face	4 Faces	11 Faces	2 Faces	1 Face
Target	22 Faces	1 Face	3 Faces	2 Faces	22 Faces	1 Face	3 Faces	2 Faces	22 Faces	1 Face	3 Faces
Contact Bodies	SYS\Solid23			Codo-Pad vano				SYS\Solid25			
Target Bodies	SYS\Solid34	SYS\Solid35	Rail	SYS\Solid28	SYS\Solid31	SYS\Solid36	Rail	SYS\Solid29	SYS\Solid32	SYS\Solid38	SYS\Solid80
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,6453e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										

Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled
Geometric Modification	
Contact Geometry Correction	None
Target Geometry Correction	None

TABLE 25
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 111	Contact Region 112	Contact Region 113	Contact Region 114	Contact Region 115	Contact Region 116	Contact Region 117	Contact Region 118	Contact Region 119	Contact Region 120	Contact Region 121
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	4 Faces	10 Faces	2 Faces	1 Face	3 Faces	6 Faces	2 Faces	6 Faces	3 Faces	6 Faces	3 Faces
Target	2 Faces	22 Faces	1 Face	3 Faces	10 Faces						
Contact Bodies	SYS\Solid26				SYS\Solid27		SYS\Solid28		SYS\Solid29		SYS\Solid30
Target Bodies	SYS\Solid30	SYS\Solid33	SYS\Solid37	SYS\Solid80	SYS\Solid34	SYS\Solid35	SYS\Solid31	SYS\Solid36	SYS\Solid32	SYS\Solid38	SYS\Solid33
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,6453e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 26
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions											
Object Name	Contact Region 122	Contact Region 123	Contact Region 124	Contact Region 125	Contact Region 126	Contact Region 127	Contact Region 128	Contact Region 129	Contact Region 130	Contact Region 131	Contact Region 132
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	6 Faces	8 Faces				3 Faces		8 Faces	7 Faces	8 Faces	7 Faces
Target	10 Faces	2 Faces				7 Faces			6 Faces	7 Faces	6 Faces
Contact Bodies	SYS\Solid30	SYS\Solid31	SYS\Solid32	SYS\Solid33	SYS\Solid34	SYS\Solid39					
Target Bodies	SYS\Solid37	Rail	SYS\Solid80		Rail	SYS\Solid40	Pad Vano	SYS\Solid42	SYS\Solid43	SYS\Solid44	Codo-Pad Vano
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,6453e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											

Contact Geometry Correction	None
Target Geometry Correction	None

TABLE 27
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 133	Contact Region 134	Contact Region 135	Contact Region 136	Contact Region 137	Contact Region 138	Contact Region 139	Contact Region 140	Contact Region 141	Contact Region 142	Contact Region 143
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	3 Faces				1 Face	2 Faces	1 Face	2 Faces	4 Faces		
Target	4 Faces				6 Faces				12 Faces		
Contact Bodies	SYS\Solid39										
Target Bodies	SYS\Solid46	SYS\Solid47	SYS\Solid48	SYS\Solid49	SYS\Solid50	SYS\Solid51	Clip Vano	SYS\Solid53	SYS\Solid54	SYS\Solid55	SYS\Solid56
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,6453e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 28
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 144	Contact Region 145	Contact Region 146	Contact Region 147	Contact Region 148	Contact Region 149	Contact Region 150	Contact Region 151	Contact Region 152	Contact Region 153	Contact Region 154
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	4 Faces	17 Faces	1 Face		9 Faces			1 Face			3 Faces
Target	12 Faces	17 Faces	3 Faces				1 Face		4 Faces		3 Faces
Contact Bodies	SYS\Solid39				SYS\Solid40						
Target Bodies	SYS\Solid57	SYS\Solid78	Rail	SYS\Solid80	SYS\Solid42	SYS\Solid43	SYS\Solid46	SYS\Solid47	SYS\Solid50	SYS\Solid53	Rail
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,6453e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 29
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Object Name	Contact Region 155	Contact Region 156	Contact Region 157	Contact Region 158	Contact Region 159	Contact Region 160	Contact Region 161	Contact Region 162	Contact Region 163	Contact Region 164	Contact Region 165							
State	Fully Defined																	
Scope																		
Scoping Method	Geometry Selection																	
Contact	9 Faces		1 Face				3 Faces		4 Faces		11 Faces		2 Faces		1 Face			
Target	3 Faces		1 Face			4 Faces			3 Faces		2 Faces		22 Faces		1 Face		3 Faces	
Contact Bodies	Pad Vano								SYS\Solid42									
Target Bodies	SYS\Solid44	Codo-Pad Vano	SYS\Solid48	SYS\Solid49	SYS\Solid51	Clip Vano	SYS\Solid80	SYS\Solid46	SYS\Solid53	SYS\Solid54	Rail							
Protected	No																	
Definition																		
Type	Bonded																	
Scope Mode	Automatic																	
Behavior	Program Controlled																	
Trim Contact	Program Controlled																	
Trim Tolerance	1,6453e-002 m																	
Suppressed	No																	
Advanced																		
Formulation	Program Controlled																	
Small Sliding	Program Controlled																	
Detection Method	Program Controlled																	
Penetration Tolerance	Program Controlled																	
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled																	
Normal Stiffness	Program Controlled																	
Update Stiffness	Program Controlled																	
Pinball Region	Program Controlled																	
Geometric Modification																		
Contact Geometry Correction	None																	
Target Geometry Correction	None																	

TABLE 30
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 166	Contact Region 167	Contact Region 168	Contact Region 169	Contact Region 170	Contact Region 171	Contact Region 172	Contact Region 173	Contact Region 174	Contact Region 175	Contact Region 176
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	4 Faces	10 Faces	2 Faces	1 Face	4 Faces	10 Faces	2 Faces	1 Face	4 Faces	11 Faces	2 Faces
Target	2 Faces	22 Faces	1 Face	3 Faces	2 Faces	22 Faces	1 Face	3 Faces	2 Faces	22 Faces	1 Face
Contact Bodies	SYS\Solid43				SYS\Solid44				Codo-Pad Vano		
Target Bodies	SYS\Solid47	SYS\Solid50	SYS\Solid55	Rail	SYS\Solid48	SYS\Solid51	SYS\Solid57	SYS\Solid80	SYS\Solid49	Clip Vano	SYS\Solid56
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,6453e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 31
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions											
Object Name	Contact Region 177	Contact Region 178	Contact Region 179	Contact Region 180	Contact Region 181	Contact Region 182	Contact Region 183	Contact Region 184	Contact Region 185	Contact Region 186	Contact Region 187
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	1 Face	2 Faces	6 Faces	3 Faces	6 Faces	3 Faces	6 Faces	2 Faces	6 Faces	8 Faces	
Target	3 Faces	10 Faces							2 Faces		
Contact	Cordo-Pad										

Bodies	Vano	SYS\Solid46		SYS\Solid47		SYS\Solid48		SYS\Solid49		SYS\Solid50	SYS\Solid51
Target Bodies	SYS\Solid80	SYS\Solid53	SYS\Solid54	SYS\Solid50	SYS\Solid55	SYS\Solid51	SYS\Solid57	Clip Vano	SYS\Solid56	Rail	SYS\Solid80
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,6453e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 32
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 188	Contact Region 189	Contact Region 190	Contact Region 191	Contact Region 192	Contact Region 193	Contact Region 194	Contact Region 195	Contact Region 196	Contact Region 197	Contact Region 198
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	8 Faces		3 Faces		8 Faces	7 Faces	8 Faces	7 Faces	3 Faces		
Target	2 Faces		7 Faces			6 Faces	7 Faces	6 Faces	4 Faces		
Contact Bodies	Clip Vano	SYS\Solid53	SYS\Solid58								
Target Bodies	SYS\Solid80	Rail	SYS\Solid59	Pad exterior	Codo-Pad exterior	SYS\Solid62	SYS\Solid63	SYS\Solid64	SYS\Solid65	SYS\Solid66	SYS\Solid67
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1.6453e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 33
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 199	Contact Region 200	Contact Region 201	Contact Region 202	Contact Region 203	Contact Region 204	Contact Region 205	Contact Region 206	Contact Region 207	Contact Region 208	Contact Region 209	
State	Fully Defined											
Scope												
Scoping Method	Geometry Selection											
Contact	3 Faces	1 Face	2 Faces	1 Face	2 Faces	4 Faces				17 Faces	1 Face	
Target	4 Faces	6 Faces				13 Faces	12 Faces				17 Faces	3 Faces
Contact Bodies	SYS\Solid58											
Target Bodies	SYS\Solid68	SYS\Solid69	SYS\Solid70	Clip exterior	Clip exterior 2	SYS\Solid73	SYS\Solid74	SYS\Solid75	SYS\Solid76	SYS\Solid78	Rail	
Protected	No											
Definition												
Type	Bonded											
Scope Mode	Automatic											
Behavior	Program Controlled											

Trim Contact	Program Controlled
Trim Tolerance	1,6453e-002 m
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Program Controlled
Small Sliding	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Penetration Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled
Geometric Modification	
Contact Geometry Correction	None
Target Geometry Correction	None

TABLE 34
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 210	Contact Region 211	Contact Region 212	Contact Region 213	Contact Region 214	Contact Region 215	Contact Region 216	Contact Region 217	Contact Region 218	Contact Region 219	Contact Region 220
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	1 Face	9 Faces		1 Face				3 Faces	9 Faces		1 Face
Target	3 Faces		1 Face			4 Faces		3 Faces			1 Face
Contact Bodies	SYS\Solid58	SYS\Solid59									
Target Bodies	SYS\Solid80	Codo-Pad exterior	SYS\Solid62	SYS\Solid65	SYS\Solid66	SYS\Solid69	Clip exterior 2	Rail	SYS\Solid63	SYS\Solid64	SYS\Solid67
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,6453e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 35
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions											
Object Name	Contact Region 221	Contact Region 222	Contact Region 223	Contact Region 224	Contact Region 225	Contact Region 226	Contact Region 227	Contact Region 228	Contact Region 229	Contact Region 230	Contact Region 231
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	1 Face			3 Faces	4 Faces	10 Faces	2 Faces	1 Face	4 Faces	11 Faces	2 Faces
Target	1 Face	4 Faces		3 Faces	2 Faces	22 Faces	1 Face	3 Faces	2 Faces	22 Faces	1 Face
Contact Bodies	Pad exterior				Codo-Pad exterior				SYS\Solid62		
Target Bodies	SYS\Solid68	SYS\Solid70	Clip exterior	SYS\Solid80	SYS\Solid65	Clip exterior 2	SYS\Solid73	Rail	SYS\Solid66	SYS\Solid69	SYS\Solid74
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,6453e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										

Penetration Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled
Geometric Modification	
Contact Geometry Correction	None
Target Geometry Correction	None

TABLE 36
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 232	Contact Region 233	Contact Region 234	Contact Region 235	Contact Region 236	Contact Region 237	Contact Region 238	Contact Region 239	Contact Region 240	Contact Region 241	Contact Region 242	
State	Fully Defined											
Scope												
Scoping Method	Geometry Selection											
Contact	1 Face	4 Faces	12 Faces	2 Faces	1 Face	4 Faces	10 Faces	2 Faces	1 Face	3 Faces	6 Faces	
Target	3 Faces	2 Faces	22 Faces	1 Face	3 Faces	2 Faces	22 Faces	1 Face	3 Faces	10 Faces		
Contact Bodies	SYS\Solid62	SYS\Solid63				SYS\Solid64				SYS\Solid65		
Target Bodies	Rail	SYS\Solid67	SYS\Solid70	SYS\Solid76	SYS\Solid80	SYS\Solid68	Clip exterior	SYS\Solid75	SYS\Solid80	Clip exterior 2	SYS\Solid73	
Protected	No											
Definition												
Type	Bonded											
Scope Mode	Automatic											
Behavior	Program Controlled											
Trim Contact	Program Controlled											
Trim Tolerance	1.6453e-002 m											
Suppressed	No											
Advanced												
Formulation	Program Controlled											
Small Sliding	Program Controlled											
Detection Method	Program Controlled											
Penetration Tolerance	Program Controlled											
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled											
Normal Stiffness	Program Controlled											
Update Stiffness	Program Controlled											
Pinball Region	Program Controlled											
Geometric Modification												
Contact Geometry Correction	None											
Target Geometry Correction	None											

TABLE 37
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 243	Contact Region 244	Contact Region 245	Contact Region 246	Contact Region 247	Contact Region 248	Contact Region 249	Contact Region 250	Contact Region 251	Contact Region 252	Contact Region 253
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	3 Faces	6 Faces	1 Face	3 Faces	6 Faces	1 Face	2 Faces	6 Faces	8 Faces		
Target	10 Faces		3 Faces	10 Faces		3 Faces	10 Faces		2 Faces		
Contact Bodies	SYS\Solid66			SYS\Solid67			SYS\Solid68		SYS\Solid69	SYS\Solid70	Clip exterior
Target Bodies	SYS\Solid69	SYS\Solid74	Rail	SYS\Solid70	SYS\Solid76	SYS\Solid80	Clip exterior	SYS\Solid75	Rail	SYS\Solid80	
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,6453e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										

Pinball Region	Program Controlled
Geometric Modification	
Contact Geometry Correction	None
Target Geometry Correction	None

TABLE 38
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions		
Object Name	Contact Region 254	Contact Region 255
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Contact	8 Faces	1 Face
Target	2 Faces	1 Face
Contact Bodies	Clip exterior 2	SubBalasto
Target Bodies	Rail	SYS\Solid78
Protected	No	
Definition		
Type	Bonded	
Scope Mode	Automatic	
Behavior	Program Controlled	
Trim Contact	Program Controlled	
Trim Tolerance	1,6453e-002 m	
Suppressed	No	
Advanced		
Formulation	Program Controlled	
Small Sliding	Program Controlled	
Detection Method	Program Controlled	
Penetration Tolerance	Program Controlled	
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled	
Normal Stiffness	Program Controlled	
Update Stiffness	Program Controlled	
Pinball Region	Program Controlled	
Geometric Modification		
Contact Geometry Correction	None	
Target Geometry Correction	None	

Mesh

TABLE 39
Model (A4) > Mesh

Object Name	Mesh
State	Solved
Display	
Display Style	Use Geometry Setting
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled
Element Size	Default
Sizing	
Use Adaptive Sizing	Yes
Resolution	Default (2)
Mesh Defeaturing	Yes
Defeature Size	Default
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Initial Size Seed	Assembly
Bounding Box Diagonal	6,5811 m
Average Surface Area	2,7581e-002 m²
Minimum Edge Length	1,8821e-004 m
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Statistics	
Nodes	715700
Elements	374865

TABLE 40
Model (A4) > Mesh > Mesh Controls

Object Name	Malla Balasto 0,1 m	Malla SubBalasto 0,1 m	Traviesas 0,05 m	Pads 0,01 m	Codos-Pad 0,01 m	Clips 0,01 m	Tirafondos 0,01 m	Railes 0,1 m
-------------	---------------------	------------------------	------------------	-------------	------------------	--------------	-------------------	--------------

State	Fully Defined							
	Scope							
Scoping Method	Named Selection							
Named Selection	Balasto	SubBalasto	Traviesas	Pads	Codos-Pad	Clips	Tirafondos	Railes
	Definition							
Suppressed	No							
Type	Element Size							
Element Size	0,1 m		5,e-002 m		1,e-002 m		0,1 m	
	Advanced							
Defeature Size	Default							
Behavior	Soft							

Named Selections

TABLE 41 Model (A4) > Named Selections > Named Selections											
Object Name	SubBalasto	Balasto	Traviesas	Pads	Codos-Pad	Clips	Tirafondos	Railes	Vainas	Pto Aplicacion 1	Pto Aplicacion 2
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection	Worksheet								Geometry Selection	
Geometry	1 Body	4 Bodies	8 Bodies	16 Bodies			2 Bodies	16 Bodies	1 Node		
Definition											
Send to Solver	Yes										
Protected	Program Controlled										
Visible	Yes										
Program Controlled Inflation	Exclude										
Statistics											
Type	Manual										
Total Selection	1 Body	4 Bodies	8 Bodies	16 Bodies			2 Bodies	16 Bodies	1 Node		
Suppressed	0										
Used by Mesh Worksheet	No										
Tolerance											
Tolerance Type			Program Controlled								
Zero Tolerance			1,e-008								
Relative Tolerance			1,e-003								
Angular Tolerance			1, °								

Static Structural (A5)

TABLE 42 Model (A4) > Analysis	
Object Name	Static Structural (A5)
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

TABLE 43 Model (A4) > Static Structural (A5) > Analysis Settings	
Object Name	Analysis Settings
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Rotordynamics Controls	
Coriolis Effect	Off
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Combine Restart Files	Program Controlled
Nonlinear Controls	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	D:\MODELOS TRABAJO FIN DE GRADO Copia\ANSYS\Modelo Proyecto TFG_files\dp0\SYSMECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No

Contact Summary	Program Controlled
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

TABLE 44
Model (A4) > Static Structural (A5) > Accelerations

Object Name	Standard Earth Gravity
State	Fully Defined
Scope	
Geometry	All Bodies
Definition	
Coordinate System	Global Coordinate System
X Component	0, m/s ² (ramped)
Y Component	0, m/s ² (ramped)
Z Component	-9,8066 m/s ² (ramped)
Suppressed	No
Direction	-Z Direction

FIGURE 1
Model (A4) > Static Structural (A5) > Standard Earth Gravity

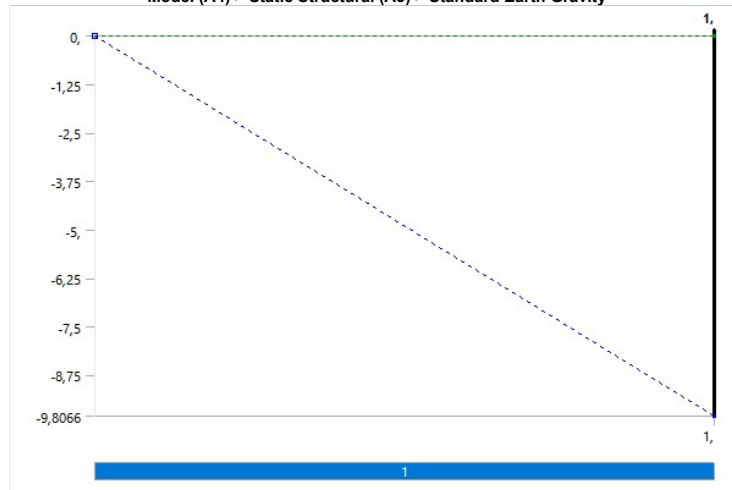


TABLE 45
Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads

Model (A4) - Static Structural (AS) - Loads			
Object Name	Fixed Support	Fuerza 1	Fuerza 2
State	Fully Defined		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection	Named Selection	
Geometry	1 Face		
Named Selection		Pto Aplicacion 1	Pto Aplicacion 2
Definition			
Type	Fixed Support	Force	
Suppressed	No		
Coordinate System	Nodal Coordinate System		
X Component	0, N (ramped)		
Y Component	0, N (ramped)		
Z Component	-11000 N (ramped)		
Divide Load by Nodes	Yes		

FIGURE 2
Model (A4) > Static Structural (A5) > Fuerza 1

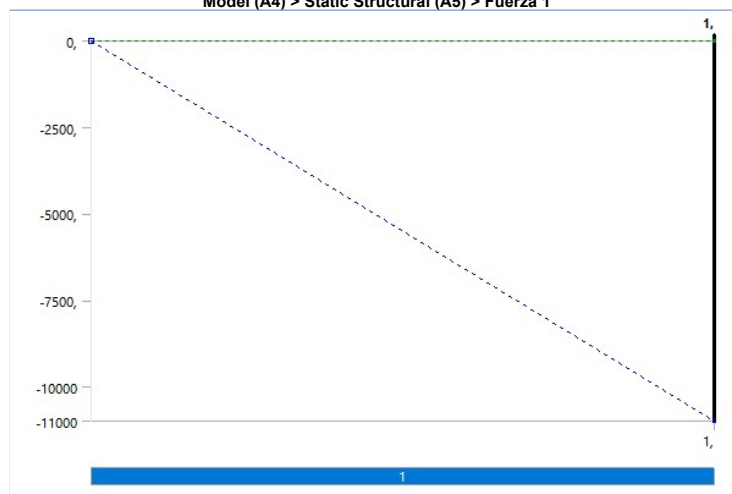
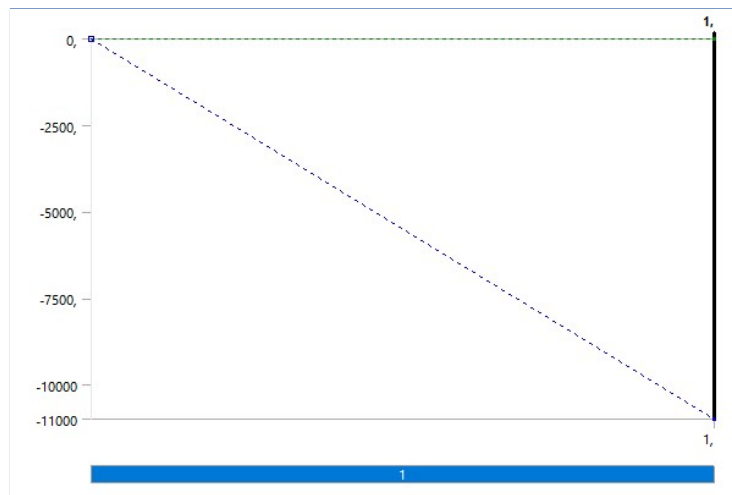


FIGURE 3
Model (A4) > Static Structural (A5) > Fuerza 2



Solution (A6)

TABLE 46
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution

Object Name	Solution (A6)
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
Information	
Status	Done
MAPDL Elapsed Time	19 m 27 s
MAPDL Memory Used	9,4521 GB
MAPDL Result File Size	410,38 MB
Post Processing	
Beam Section Results	No
On Demand Stress/Strain	No

TABLE 47
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Solution Information

Object Name	Solution Information
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Identify Element Violations	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 48
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Results

Object Name	Total Deformation	Deformacion Max Clips	Deformacion Max Pad	Deformacion Max Codo Pad	Tension Von Mises Clip	Tension Von Mises Codo-Pad	Tension Von Mises Pad
State	Solved						
Scope							
Scoping Method	Geometry Selection	Named Selection					
Geometry	All Bodies						
Named Selection		Clips	Pads	Codos-Pad	Clips	Codos-Pad	Pads
Definition							
Type	Total Deformation				Equivalent (von-Mises) Stress		
By	Time						
Display Time	Last						
Calculate Time History	Yes						
Identifier							
Suppressed	No						
Results							
Minimum	0, m	1,8551e-005 m	1,8133e-005 m	1,9101e-005 m	1158,7 Pa	504,51 Pa	98,029 Pa
Maximum	6,3926e-005 m	3,952e-005 m	4,3726e-005 m	3,8533e-005 m	4,897e+006 Pa	1,4688e+006 Pa	2,6544e+005 Pa
Average	2,5673e-005 m	2,8185e-005 m	2,881e-005 m	2,8129e-005 m	2,0875e+005 Pa	71174 Pa	9325,1 Pa
Minimum Occurs On	SubBalasto	Clip exterior 2	Pad 1	Codo-Pad extremo 2	Clip exterior	Codo-Pad exterior	Pad exterior
Maximum Occurs On	Rail	Clip Vano	Pad Vano	Codo-Pad Vano	Clip Vano	Codo-Pad vano	Pad Vano
Information							
Time	1, s						
Load Step	1						
Substep	1						
Iteration Number	1						
Integration Point Results							

Display Option		Averaged
Average Across Bodies		No

FIGURE 4
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Total Deformation

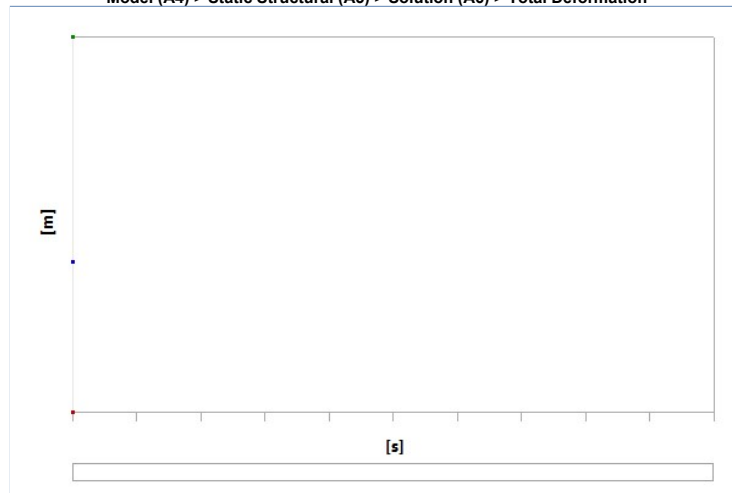


TABLE 49
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Total Deformation

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]	Average [m]
1,	0,	6,3926e-005	2,5673e-005

FIGURE 5
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Deformacion Max Clips

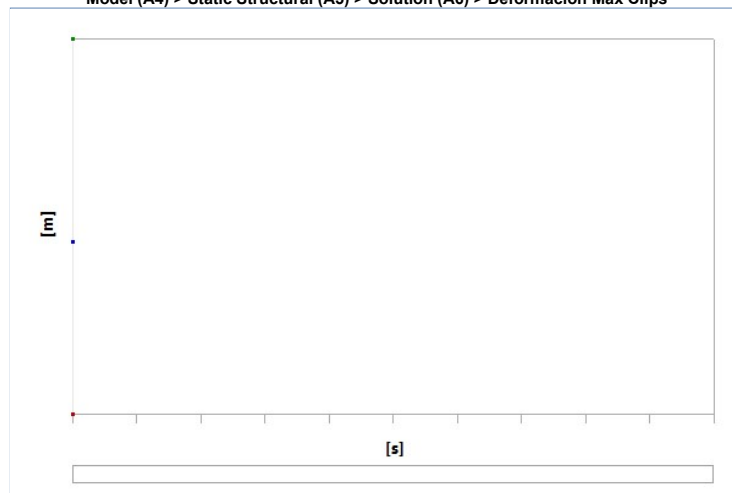


TABLE 50
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Deformacion Max Clips

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]	Average [m]
1,	1,8551e-005	3,952e-005	2,8185e-005

FIGURE 6
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Deformacion Max Pad

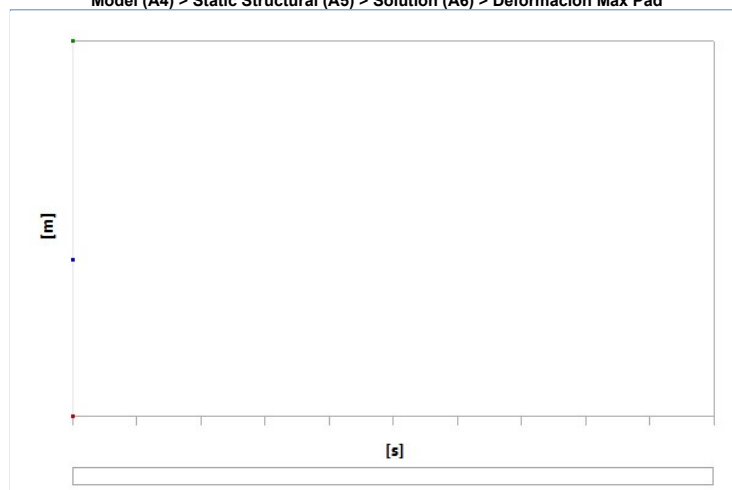


TABLE 51
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Deformacion Max Pad

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]	Average [m]
1,	1,8133e-005	4,3726e-005	2,881e-005

FIGURE 7
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Deformacion Max Codo Pad

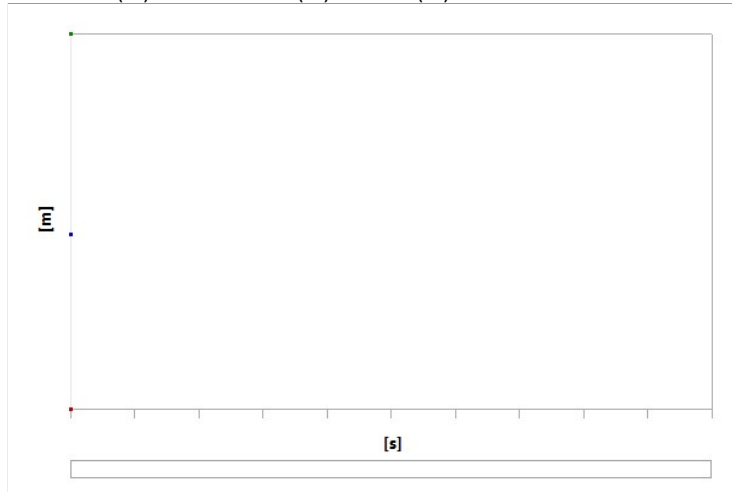


TABLE 52
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Deformacion Max Codo Pad

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]	Average [m]
1,	1,9101e-005	3,8533e-005	2,8129e-005

FIGURE 8
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Tension Von Mises Clip

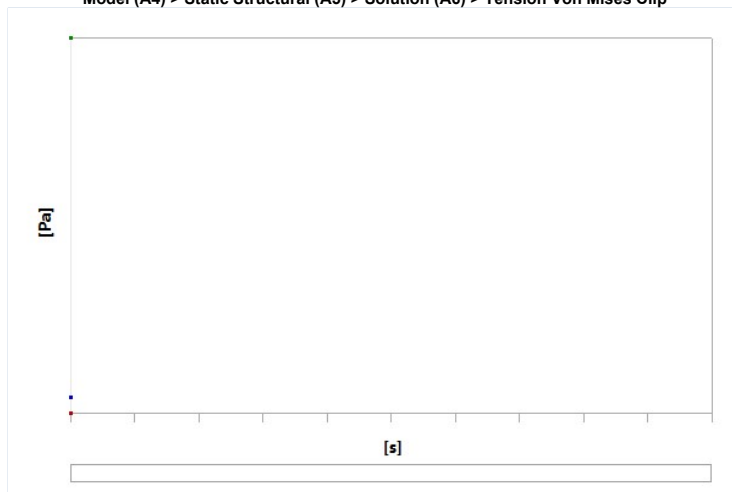


TABLE 53
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Tension Von Mises Clip

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]	Average [Pa]
1,	1158,7	4,897e+006	2,0875e+005

FIGURE 9
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Tension Von Mises Codo-Pad

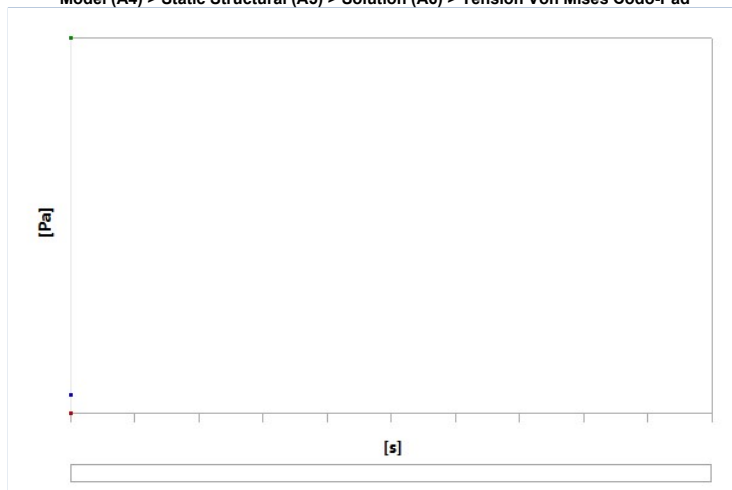


TABLE 54
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Tension Von Mises Codo-Pad

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]	Average [Pa]
1,	504,51	1,4688e+006	71174

FIGURE 10
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Tension Von Mises Pad

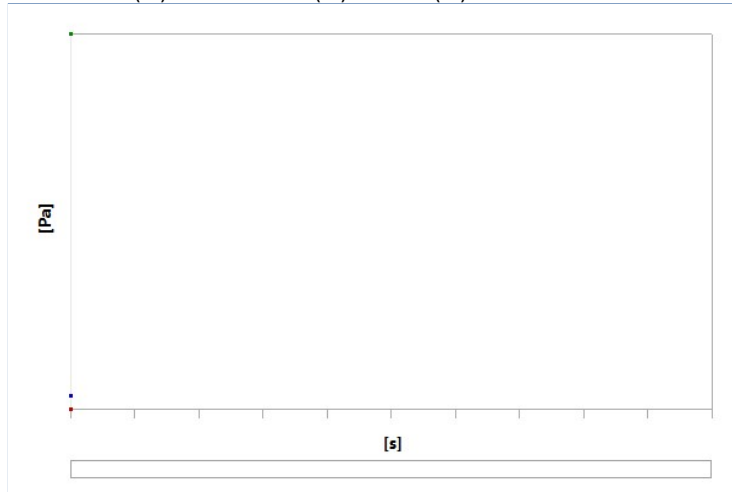


TABLE 55
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Tension Von Mises Pad

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]	Average [Pa]
1,	98,029	2,6544e+005	9325,1

Material Data

Traviesas

TABLE 56
Traviesas > Constants

Density	2300, kg m ⁻³
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	1,4e-005 C ⁻¹
Specific Heat Constant Pressure	780, J kg ⁻¹ C ⁻¹
Isotropic Thermal Conductivity	0,72 W m ⁻¹ C ⁻¹

TABLE 57
Traviesas > Color

Red	Green	Blue
180,	173,	167,

TABLE 58
Traviesas > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa
4,1e+007

TABLE 59
Traviesas > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa
0,

TABLE 60
Traviesas > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
0,

TABLE 61
Traviesas > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
5,e+006

TABLE 62
Traviesas > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Zero-Thermal-Strain Reference Temperature C
22,

TABLE 63
Traviesas > Isotropic Elasticity

Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa	Temperature C
3,e+010	0,18	1,5625e+010	1,2712e+010	

Pad

TABLE 64
Pad > Constants

Density	850, kg m ⁻³
---------	-------------------------

TABLE 65
Pad > Color

Red	Green	Blue
235,	222,	222,

TABLE 66
Pad > Isotropic Elasticity

Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa	Temperature C
1,e+008	0,49	1,6667e+009	3,3557e+007	

Codo-Pad

TABLE 67
Codo-Pad > Constants

Density	1360, kg m ⁻³
---------	--------------------------

TABLE 68
Codo-Pad > Color

Red	Green	Blue
182,	229,	228,

TABLE 69
Codo-Pad > Isotropic Elasticity

Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa	Temperature C
5,2e+009	0,34	5,4167e+009	1,9403e+009	

Rail y Tirafondos

TABLE 70
Rail y Tirafondos > Constants

Density	7850, kg m ⁻³
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	1,2e-005 C ⁻¹
Specific Heat Constant Pressure	434, J kg ⁻¹ C ⁻¹
Isotropic Thermal Conductivity	60,5 W m ⁻¹ C ⁻¹
Isotropic Resistivity	1,7e-007 ohm m

TABLE 71
Rail y Tirafondos > Color

Red	Green	Blue
132,	139,	179,

TABLE 72
Rail y Tirafondos > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa
0,

TABLE 73
Rail y Tirafondos > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa
2,5e+008

TABLE 74
Rail y Tirafondos > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
2,5e+008

TABLE 75
Rail y Tirafondos > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
4,6e+008

TABLE 76
Rail y Tirafondos > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Zero-Thermal-Strain Reference Temperature C
22,

TABLE 77
Rail y Tirafondos > S-N Curve

Alternating Stress Pa	Cycles	Mean Stress Pa
3,999e+009	10,	0,
2,827e+009	20,	0,
1,896e+009	50,	0,
1,413e+009	100,	0,
1,069e+009	200,	0,
4,41e+008	2000,	0,
2,62e+008	10000	0,
2,14e+008	20000	0,
1,38e+008	1,e+005	0,
1,14e+008	2,e+005	0,
8,62e+007	1,e+006	0,

TABLE 78
Rail y Tirafondos > Strain-Life Parameters

Strength Coefficient Pa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient Pa	Cyclic Strain Hardening Exponent
9,2e+008	-0,106	0,213	-0,47	1,e+009	0,2

TABLE 79
Rail y Tirafondos > Isotropic Elasticity

Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa	Temperature C
2,e+011	0,3	1,6667e+011	7,6923e+010	

TABLE 80
Rail y Tirafondos > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
10000

Clip

TABLE 81

Clip > Constants

Density	7800, kg m ⁻³
---------	--------------------------

TABLE 82**Clip > Color**

Red	Green	Blue
170,	170,	170,

TABLE 83**Clip > Isotropic Elasticity**

Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa	Temperature C
1,8e+011	0,3	1,5e+011	6,9231e+010	

Vainas**TABLE 84****Vainas > Constants**

Density	950, kg m ⁻³
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	2,3e-004 C ⁻¹
Specific Heat Constant Pressure	2300, J kg ⁻¹ C ⁻¹
Isotropic Thermal Conductivity	0,28 W m ⁻¹ C ⁻¹

TABLE 85**Vainas > Color**

Red	Green	Blue
130,	154,	176,

TABLE 86**Vainas > Compressive Ultimate Strength**

Compressive Ultimate Strength Pa
0,

TABLE 87**Vainas > Compressive Yield Strength**

Compressive Yield Strength Pa
0,

TABLE 88**Vainas > Tensile Yield Strength**

Tensile Yield Strength Pa
2,5e+007

TABLE 89**Vainas > Tensile Ultimate Strength**

Tensile Ultimate Strength Pa
3,3e+007

TABLE 90**Vainas > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion**

Zero-Thermal-Strain Reference Temperature C
22,

TABLE 91**Vainas > Isotropic Elasticity**

Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa	Temperature C
1,1e+009	0,42	2,2917e+009	3,8732e+008	

Subbalasto**TABLE 92****Subbalasto > Constants**

Density	1600, kg m ⁻³
---------	--------------------------

TABLE 93**Subbalasto > Color**

Red	Green	Blue
109,	157,	209,

TABLE 94**Subbalasto > Isotropic Elasticity**

Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa	Temperature C
5,e+008	0,25	3,3333e+008	2,e+008	

Balasto**TABLE 95****Balasto > Constants**

Density	1800, kg m ⁻³
---------	--------------------------

TABLE 96**Balasto > Color**

Red	Green	Blue
130,	181,	143,

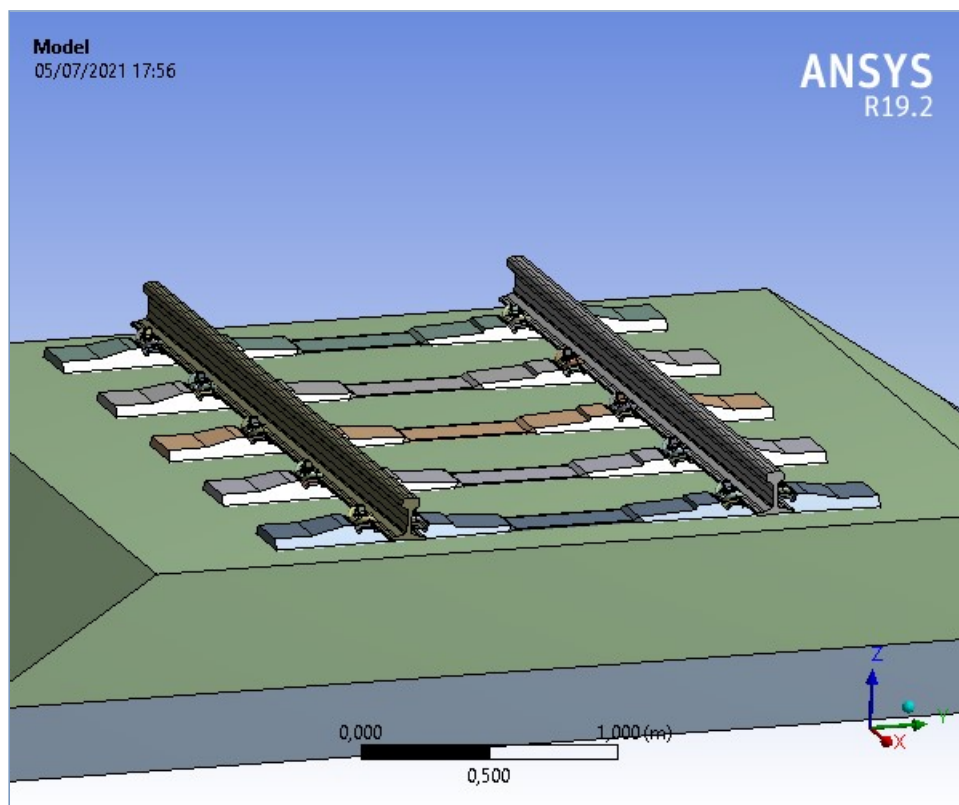
TABLE 97**Balasto > Isotropic Elasticity**

Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa	Temperature C
1,7e+008	0,3	1,4167e+008	6,5385e+007	



Project

First Saved	Friday, June 11, 2021
Last Saved	Tuesday, June 22, 2021
Product Version	19.2 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Modelo de 5 traviesas para separación 600 mm

Contents

- [Units](#)
- [Model \(B4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [Parts](#)
 - [Materials](#)
 - [Vainas](#)
 - [Subbalasto](#)
 - [Balasto](#)
 - [Traviesas](#)
 - [Clip](#)
 - [Codo-Pad](#)
 - [Pad](#)
 - [Rail y Tirafondos](#)
 - [Vainas Assignment](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Connections](#)
 - [Contacts](#)
 - [Contact Regions](#)
 - [Mesh](#)
 - [Mesh Controls](#)
 - [Named Selections](#)
 - [Static Structural \(B5\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Standard Earth Gravity](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(B6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [Traviesas](#)
 - [Pad](#)
 - [Codo-Pad](#)
 - [Rail y Tirafondos](#)
 - [Clip](#)
 - [Vainas](#)
 - [Subbalasto](#)
 - [Balasto](#)

Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Model (B4)

Geometry

TABLE 2
Model (B4) > Geometry

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
Definition	
Source	D:\MODELOS TRABAJO FIN DE GRADO Copia\ANSYS\Modelo Proyecto TFG_files\dp0\SYS-1\DM\SYS-1.scdoc
Type	SpaceClaim
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	3,02 m

Length Y	6,034 m
Length Z	1,0221 m
Properties	
Volume	11,807 m ³
Mass	20822 kg
Scale Factor Value	1,
Statistics	
Bodies	99
Active Bodies	99
Nodes	894045
Elements	468563
Mesh Metric	None
Update Options	
Assign Default Material	No
Basic Geometry Options	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes
Line Bodies	Yes
Parameters	Independent
Parameter Key	
Attributes	Yes
Attribute Key	
Named Selections	Yes
Named Selection Key	
Material Properties	Yes
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	Yes
Coordinate System Key	
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Clean Bodies On Import	No
Stitch Surfaces On Import	No
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	SYS-1 \\Solid1	SYS-1 \\Solid2	SYS-1 \\Solid3	SYS-1 \\Solid4	SYS-1 \\Solid5	SYS-1 \\Solid6	SYS-1 \\Solid7	SYS-1 \\Solid8	SYS-1 \\Solid9	SYS-1 \\Solid10	SYS-1 \\Solid11
State	Meshed										
Graphics Properties											
Visible	Yes										
Transparency	1										
Definition											
Suppressed	No										
Stiffness Behavior	Flexible										
Coordinate System	Default Coordinate System										
Reference Temperature	By Environment										
Behavior	None										
Material											
Assignment	Traviesas	Pad	Codo-Pad					Rail y Tirafondos			
Nonlinear Effects	Yes										
Thermal Strain Effects	Yes										
Bounding Box											
Length X	0,3 m	0,18001 m	0,11 m					5,0003e-002 m			
Length Y	2,5 m	0,1599 m	8,1133e-002 m	8,1581e-002 m	8,1131e-002 m	8,1581e-002 m	5,0116e-002 m	5,7508e-002 m	5,0114e-002 m	5,8363e-002 m	
Length Z	0,236 m	2,2369e-002 m	3,701e-002 m	4,158e-002 m	3,701e-002 m	4,158e-002 m	0,19616 m	0,19534 m	0,19619 m	0,19525 m	
Properties											
Volume	0,1186 m³	1,7693e-004 m³	1,2971e-004 m³					8,3806e-005 m³	8,3808e-005 m³	8,3806e-005 m³	8,3807e-005 m³

Mass	272,77 kg	0,15039 kg		0,17641 kg				0,65788 kg	0,6579 kg	0,65788 kg	0,65789 kg
Centroid X	216,79 m										
Centroid Y	17,378 m	18,14 m	16,617 m	18,254 m	18,024 m	16,502 m	16,732 m	18,241 m	18,039 m	16,516 m	16,717 m
Centroid Z	-32,296 m	-32,174 m		-32,166 m	-32,177 m	-32,166 m	-32,177 m	-32,172 m	-32,182 m	-32,172 m	-32,182 m
Moment of Inertia Ip1	159,38 kg·m²	2,7738e-004 kg·m²	2,7739e-004 kg·m²	1,0761e-004 kg·m²				1,9118e-003 kg·m²			
Moment of Inertia Ip2	2,3121 kg·m²	4,7491e-004 kg·m²		1,8901e-004 kg·m²				1,909e-003 kg·m²		1,9091e-003 kg·m²	
Moment of Inertia Ip3	159,81 kg·m²	7,4997e-004 kg·m²	7,4998e-004 kg·m²	2,826e-004 kg·m²				7,1596e-005 kg·m²	7,1598e-005 kg·m²		7,1599e-005 kg·m²
Statistics											
Nodes	18069	5871	5550	3627	3675	3570	3708	7676	7662	7863	7716
Elements	11372	2932	2738	1968	2000	1916	2031	4033	4026	4168	4086
Mesh Metric	None										
CAD Attributes											
PartTolerance:	0,00000001										
Color:175.143.175											
Color:159.175.143											
Color:143.143.175											
Color:175.159.143											
Color:143.175.175											
Color:175.143.159											
Color:143.175.143											
Color:159.143.175											
Color:175.175.143											
Color:143.159.175											
Color:175.143.143											

TABLE 4
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	SYS-1 Solid12	SYS-1 Solid13	SYS-1 Solid14	SYS-1 Solid15	SYS-1 Solid16	SYS-1 Solid17	SYS-1 Solid18	SYS-1 Solid19	SYS-1 Solid20	SYS-1 Solid21	SYS-1 Solid22
State	Meshed										
Graphics Properties											
Visible	Yes										
Transparency	1										
Definition											
Suppressed	No										
Stiffness Behavior	Flexible										
Coordinate System	Default Coordinate System										
Reference Temperature	By Environment										
Behavior	None										
Material											
Assignment	Clip				Vainas				Traviesas	Pad	
Nonlinear Effects	Yes										
Thermal Strain Effects	Yes										
Bounding Box											
Length X	0,16299 m				3,5995e-002 m				0,3 m	0,17999 m	
Length Y	8,5499e-002 m	8,7675e-002 m	8,5501e-002 m	8,7673e-002 m	3,7304e-002 m	4,9501e-002 m	4,9923e-002 m	3,7069e-002 m	2,5 m	0,1599 m	
Length Z	4,4449e-002 m	4,0401e-002 m	4,4449e-002 m	4,0401e-002 m	0,14204 m	0,14385 m		0,14204 m	0,236 m	2,2369e-002 m	
Properties											
Volume	6,4354e-005 m³	6,4364e-005 m³	6,4355e-005 m³	6,4364e-005 m³	3,2552e-005 m³	3,2554e-005 m³	3,2559e-005 m³	3,2553e-005 m³	0,1186 m³	1,7693e-004 m³	
Mass	0,50196 kg	0,50204 kg	0,50197 kg	0,50204 kg	3,0925e-002 kg	3,0927e-002 kg	3,0931e-002 kg	3,0925e-002 kg	272,77 kg	0,15039 kg	
Centroid X	216,79 m								217,39 m		
Centroid Y	18,04 m	16,52 m	16,717 m	18,237 m	18,238 m	18,049 m	16,707 m	16,518 m	17,378 m	18,14 m	16,617 m
Centroid Z	-32,154 m	-32,144 m	-32,154 m	-32,144 m	-32,244 m	-32,253 m		-32,244 m	-32,296 m	-32,174 m	
Moment of Inertia Ip1	3,9487e-004	3,9488e-004	3,9487e-004	3,9488e-004	6,0332e-005	6,0301e-005	6,0314e-005	6,0326e-005	159,38 kg·m²	2,7736e-004 kg·m²	

	kg·m²	kg·m²	kg·m²	kg·m²	kg·m²	kg·m²	kg·m²	kg·m²			
Moment of Inertia Ip2	1,145e-003 kg·m²	1,1451e-003 kg·m²	1,145e-003 kg·m²	1,1451e-003 kg·m²	6,0307e-005 kg·m²	6,0277e-005 kg·m²	6,029e-005 kg·m²	6,0302e-005 kg·m²	2,3122 kg·m²	4,7478e-004 kg·m²	
Moment of Inertia Ip3	1,487e-003 kg·m²	1,4871e-003 kg·m²	1,487e-003 kg·m²	1,4871e-003 kg·m²	4,5655e-006 kg·m²	4,5635e-006 kg·m²	4,5643e-006 kg·m²	4,5651e-006 kg·m²	159,81 kg·m²	7,4982e-004 kg·m²	
Statistics											
Nodes	2187	2176	2078	2139	16302	16678	17036	16028	17974	5867	5543
Elements	993	988	927	966	8612	8879	9138	8442	11307	2931	2731
Mesh Metric	None										
CAD Attributes											
PartTolerance:	0,00000001										
Color:143.175.159											
Color:175.143.175											
Color:159.175.143											
Color:143.143.175											
Color:175.159.143											
Color:143.175.175											
Color:175.143.159											
Color:143.175.143											
Color:159.143.175											
Color:175.175.143											
Color:143.159.175											

TABLE 5
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	SYS-1 \\Solid23	SYS-1 \\Solid24	SYS-1 \\Solid25	SYS-1 \\Solid26	SYS-1 \\Solid27	SYS-1 \\Solid28	SYS-1 \\Solid29	SYS-1 \\Solid30	SYS-1 \\Solid31	SYS-1 \\Solid32	SYS-1 \\Solid33
State	Meshed										
Graphics Properties											
Visible	Yes										
Transparency	1										
Definition											
Suppressed	No										
Stiffness Behavior	Flexible										
Coordinate System	Default Coordinate System										
Reference Temperature	By Environment										
Behavior	None										
Material											
Assignment	Codo-Pad				Rail y Tirafondos				Clip		
Nonlinear Effects	Yes										
Thermal Strain Effects	Yes										
Bounding Box											
Length X	0,11 m				5,0003e-002 m				0,16299 m		
Length Y	8,1133e-002 m	8,1581e-002 m	8,1131e-002 m	8,1581e-002 m	5,0116e-002 m	5,7508e-002 m	5,0114e-002 m	5,8363e-002 m	8,5499e-002 m	8,7675e-002 m	8,5501e-002 m
Length Z	3,701e-002 m	4,158e-002 m	3,701e-002 m	4,158e-002 m	0,19616 m	0,19534 m	0,19619 m	0,19525 m	4,4449e-002 m	4,0401e-002 m	4,4449e-002 m
Properties											
Volume	1,2971e-004 m³				8,3806e-005 m³	8,3808e-005 m³	8,3806e-005 m³	8,3807e-005 m³	6,4354e-005 m³	6,4364e-005 m³	6,4354e-005 m³
Mass	0,17641 kg				0,65788 kg	0,6579 kg	0,65788 kg	0,65789 kg	0,50196 kg	0,50204 kg	0,50196 kg
Centroid X	217,39 m										
Centroid Y	18,254 m	18,024 m	16,502 m	16,732 m	18,241 m	18,039 m	16,516 m	16,717 m	18,04 m	16,52 m	16,717 m
Centroid Z	-32,166 m	-32,177 m	-32,166 m	-32,177 m	-32,172 m	-32,182 m	-32,172 m	-32,182 m	-32,154 m	-32,144 m	-32,154 m
Moment of Inertia Ip1	1,0761e-004 kg·m²				1,9119e-003 kg·m²				3,9488e-004 kg·m²	3,9489e-004 kg·m²	3,9487e-004 kg·m²
Moment of Inertia Ip2	1,8901e-004 kg·m²				1,9091e-003 kg·m²			1,9092e-003 kg·m²	1,145e-003 kg·m²	1,1451e-003 kg·m²	1,145e-003 kg·m²
Moment of Inertia Ip3	2,826e-004 kg·m²				7,1605e-005 kg·m²	7,1607e-005 kg·m²	7,1606e-005 kg·m²	7,1608e-005 kg·m²	1,487e-003 kg·m²		
Statistics											
Nodes	3637	3642	3564	3705	7657	7672	7725	7650	2182	2158	2084

Elements	1976	1975	1913	2028	4021	4032	4073	4035	990	976	929
Mesh Metric	None										
CAD Attributes											
PartTolerance:	0,00000001										
Color:175.143.143											
Color:143.175.159											
Color:175.143.175											
Color:159.175.143											
Color:143.143.175											
Color:175.159.143											
Color:143.175.175											
Color:175.143.159											
Color:143.175.143											
Color:159.143.175											
Color:175.175.143											

TABLE 6
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	SYS-1 \\Solid34	SYS-1 \\Solid35	SYS-1 \\Solid36	SYS-1 \\Solid37	SYS-1 \\Solid38	SYS-1 \\Solid39	SYS-1 \\Solid40	SYS-1 \\Solid41	SYS-1 \\Solid42	SYS-1 \\Solid43	SYS-1 \\Solid44
State	Meshed										
Graphics Properties											
Visible	Yes										
Transparency	1										
Definition											
Suppressed	No										
Stiffness Behavior	Flexible										
Coordinate System	Default Coordinate System										
Reference Temperature	By Environment										
Behavior	None										
Material											
Assignment	Clip	Vainas				Traviesas	Pad		Codo-Pad		
Nonlinear Effects	Yes										
Thermal Strain Effects	Yes										
Bounding Box											
Length X	0,16299 m	3,6011e-002 m				0,3 m	0,18001 m		0,11 m		
Length Y	8,7673e-002 m	3,7304e-002 m	4,9501e-002 m	4,9923e-002 m	3,7069e-002 m	2,5 m	0,1599 m		8,1133e-002 m	8,1581e-002 m	8,1131e-002 m
Length Z	4,0401e-002 m	0,14204 m	0,14385 m		0,14204 m	0,236 m	2,2369e-002 m		3,701e-002 m	4,158e-002 m	3,701e-002 m
Properties											
Volume	6,4363e-005 m³	3,2552e-005 m³	3,2555e-005 m³	3,2559e-005 m³	3,2553e-005 m³	0,1186 m³	1,7693e-004 m³		1,2971e-004 m³		
Mass	0,50203 kg	3,0925e-002 kg	3,0927e-002 kg	3,0931e-002 kg	3,0925e-002 kg	272,77 kg	0,15039 kg		0,17641 kg		
Centroid X	217,39 m					217,99 m					
Centroid Y	18,237 m	18,238 m	18,049 m	16,707 m	16,518 m	17,378 m	18,14 m	16,617 m	18,254 m	18,024 m	16,502 m
Centroid Z	-32,144 m	-32,244 m	-32,253 m		-32,244 m	-32,296 m	-32,174 m		-32,166 m	-32,177 m	-32,166 m
Moment of Inertia Ip1	3,9488e-004 kg·m²	6,0331e-005 kg·m²	6,0296e-005 kg·m²	6,0311e-005 kg·m²	6,0325e-005 kg·m²	159,38 kg·m²	2,7739e-004 kg·m²	2,7738e-004 kg·m²	1,0761e-004 kg·m²		
Moment of Inertia Ip2	1,145e-003 kg·m²	6,0307e-005 kg·m²	6,0272e-005 kg·m²	6,0287e-005 kg·m²	6,0301e-005 kg·m²	2,3121 kg·m²	4,749e-004 kg·m²		1,8901e-004 kg·m²		
Moment of Inertia Ip3	1,487e-003 kg·m²	4,5656e-006 kg·m²	4,5629e-006 kg·m²	4,5642e-006 kg·m²	4,5651e-006 kg·m²	159,81 kg·m²	7,4997e-004 kg·m²	7,4996e-004 kg·m²	2,826e-004 kg·m²		
Statistics											
Nodes	2114	16317	16683	17020	16084	18153	5866	5567	3626	3668	3765
Elements	943	8625	8882	9124	8482	11443	2931	2748	1967	1995	2064
Mesh Metric	None										
CAD Attributes											
PartTolerance:	0,00000001										
Color:143.159.175											
Color:175.143.143											
Color:143.175.159											
Color:175.143.175											

Color:159.175.143	
Color:143.143.175	
Color:175.159.143	
Color:143.175.175	
Color:175.143.159	
Color:143.175.143	
Color:159.143.175	

TABLE 7
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	SYS-1 Solid45	SYS-1 Solid46	SYS-1 Solid47	SYS-1 Solid48	SYS-1 Solid49	SYS-1 Solid50	SYS-1 Solid51	SYS-1 Solid52	SYS-1 Solid53	SYS-1 Solid54	SYS-1 Solid55
State	Meshed										
Graphics Properties											
Visible	Yes										
Transparency	1										
Definition											
Suppressed	No										
Stiffness Behavior	Flexible										
Coordinate System	Default Coordinate System										
Reference Temperature	By Environment										
Behavior	None										
Material											
Assignment	Codo-Pad	Rail y Tirafondos					Clip			Vainas	
Nonlinear Effects	Yes										
Thermal Strain Effects	Yes										
Bounding Box											
Length X	0,11 m	5,0003e-002 m				0,16301 m				3,5995e-002 m	
Length Y	8,1581e-002 m	5,0116e-002 m	5,7508e-002 m	5,0114e-002 m	5,8363e-002 m	8,5499e-002 m	8,7675e-002 m	8,5501e-002 m	8,7673e-002 m	3,7304e-002 m	4,9501e-002 m
Length Z	4,158e-002 m	0,19616 m	0,19534 m	0,19619 m	0,19525 m	4,4449e-002 m	4,0401e-002 m	4,4449e-002 m	4,0401e-002 m	0,14204 m	0,14385 m
Properties											
Volume	1,2971e-004 m³	8,3806e-005 m³	8,3808e-005 m³	8,3806e-005 m³	8,3807e-005 m³	6,4355e-005 m³	6,4364e-005 m³	6,4354e-005 m³	6,4364e-005 m³	3,2552e-005 m³	3,2555e-005 m³
Mass	0,17641 kg	0,65788 kg	0,6579 kg	0,65788 kg	0,65789 kg	0,50197 kg	0,50204 kg	0,50196 kg	0,50204 kg	3,0925e-002 kg	3,0927e-002 kg
Centroid X	217,99 m										
Centroid Y	16,732 m	18,241 m	18,039 m	16,516 m	16,717 m	18,04 m	16,52 m	16,717 m	18,237 m	18,238 m	18,049 m
Centroid Z	-32,177 m	-32,172 m	-32,182 m	-32,172 m	-32,182 m	-32,154 m	-32,144 m	-32,154 m	-32,144 m	-32,244 m	-32,253 m
Moment of Inertia Ip1	1,0761e-004 kg·m²	1,9118e-003 kg·m²			1,9119e-003 kg·m²	3,9485e-004 kg·m²	3,9486e-004 kg·m²	3,9485e-004 kg·m²	3,9486e-004 kg·m²	6,0323e-005 kg·m²	6,0318e-005 kg·m²
Moment of Inertia Ip2	1,8901e-004 kg·m²	1,9091e-003 kg·m²				1,145e-003 kg·m²	1,1451e-003 kg·m²	1,145e-003 kg·m²		6,0299e-005 kg·m²	6,0294e-005 kg·m²
Moment of Inertia Ip3	2,826e-004 kg·m²	7,1599e-005 kg·m²	7,1601e-005 kg·m²		7,1602e-005 kg·m²	1,487e-003 kg·m²				4,5651e-006 kg·m²	4,5646e-006 kg·m²
Statistics											
Nodes	3707	7705	7652	7771	7670	2161	2162	2086	2123	16297	16683
Elements	2030	4051	4020	4106	4049	973	977	933	954	8610	8882
Mesh Metric	None										
CAD Attributes											
PartTolerance:	0,00000001										
Color:175.175.143											
Color:143.159.175											
Color:175.143.143											
Color:143.175.159											
Color:175.143.175											
Color:159.175.143											
Color:143.143.175											
Color:175.159.143											
Color:143.175.175											
Color:175.143.159											
Color:143.175.143											

TABLE 8
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	SYS-1 \\Solid56	SYS-1 \\Solid57	SYS-1 \\Solid58	SYS-1 \\Solid59	SYS-1 \\Solid60	SYS-1 \\Solid61	SYS-1 \\Solid62	SYS-1 \\Solid63	SYS-1 \\Solid64	SYS-1 \\Solid65	SYS-1 \\Solid66
State	Meshed										
Graphics Properties											
Visible	Yes										
Transparency	1										
Definition											
Suppressed	No										
Stiffness Behavior	Flexible										
Coordinate System	Default Coordinate System										
Reference Temperature	By Environment										
Behavior	None										
Material											
Assignment	Vainas	Traviesas	Pad		Codo-Pad				Rail y Tirafondos		
Nonlinear Effects	Yes										
Thermal Strain Effects	Yes										
Bounding Box											
Length X	3,5995e-002 m		0,29999 m	0,17999 m		0,11 m				4,9988e-002 m	
Length Y	4,9923e-002 m	3,7069e-002 m	2,5 m	0,1599 m		8,1133e-002 m	8,1581e-002 m	8,1131e-002 m	8,1581e-002 m	5,0116e-002 m	5,7508e-002 m
Length Z	0,14385 m	0,14204 m	0,236 m	2,2369e-002 m		3,701e-002 m	4,158e-002 m	3,701e-002 m	4,158e-002 m	0,19616 m	0,19534 m
Properties											
Volume	3,2559e-005 m³	3,2553e-005 m³	0,1186 m³	1,7693e-004 m³		1,2971e-004 m³				8,3806e-005 m³	8,3808e-005 m³
Mass	3,0931e-002 kg	3,0925e-002 kg	272,77 kg	0,15039 kg		0,17641 kg				0,65788 kg	0,6579 kg
Centroid X	217,99 m		218,59 m								
Centroid Y	16,707 m	16,518 m	17,378 m	18,14 m	16,617 m	18,254 m	18,024 m	16,502 m	16,732 m	18,241 m	18,039 m
Centroid Z	-32,253 m	-32,244 m	-32,296 m	-32,174 m		-32,166 m	-32,177 m	-32,166 m	-32,177 m	-32,172 m	-32,182 m
Moment of Inertia Ip1	6,0299e-005 kg·m²	6,0333e-005 kg·m²	159,37 kg·m²	2,7736e-004 kg·m²		1,0761e-004 kg·m²				1,9119e-003 kg·m²	
Moment of Inertia Ip2	6,0275e-005 kg·m²	6,0309e-005 kg·m²	2,3119 kg·m²	4,7479e-004 kg·m²		1,8901e-004 kg·m²				1,9091e-003 kg·m²	
Moment of Inertia Ip3	4,5634e-006 kg·m²	4,5654e-006 kg·m²	159,8 kg·m²	7,4983e-004 kg·m²		2,826e-004 kg·m²				7,1611e-005 kg·m²	7,1612e-005 kg·m²
Statistics											
Nodes	17009	16058	18136	5834	5535	3650	3658	3637	3584	7623	7554
Elements	9117	8464	11423	2907	2720	1985	1987	1968	1935	3994	3944
Mesh Metric	None										
CAD Attributes											
PartTolerance:	0,00000001										
Color:159.143.175											
Color:175.175.143											
Color:143.159.175											
Color:175.143.143											
Color:143.175.159											
Color:175.143.175											
Color:159.175.143											
Color:143.143.175											
Color:175.159.143											
Color:143.175.175											
Color:175.143.159											

TABLE 9
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	SYS-1 \\Solid67	SYS-1 \\Solid68	SYS-1 \\Solid69	SYS-1 \\Solid70	SYS-1 \\Solid71	SYS-1 \\Solid72	SYS-1 \\Solid73	SYS-1 \\Solid74	SYS-1 \\Solid75	SYS-1 \\Solid76	SYS-1 \\Solid77
State	Meshed										
Graphics Properties											
Visible	Yes										
Transparency	1										

Definition											
Suppressed	No										
Stiffness Behavior	Flexible										
Coordinate System	Default Coordinate System										
Reference Temperature	By Environment										
Behavior	None										
Material											
Assignment	Rail y Tirafondos	Clip					Vainas				Traviesas
Nonlinear Effects	Yes										
Thermal Strain Effects	Yes										
Bounding Box											
Length X	4,9988e-002 m		0,16299 m				3,6011e-002 m				0,3 m
Length Y	5,0114e-002 m	5,8363e-002 m	8,5499e-002 m	8,7675e-002 m	8,5501e-002 m	8,7673e-002 m	3,7304e-002 m	4,9501e-002 m	4,9923e-002 m	3,7069e-002 m	2,5 m
Length Z	0,19619 m	0,19525 m	4,4449e-002 m	4,0401e-002 m	4,4449e-002 m	4,0401e-002 m	0,14204 m	0,14385 m		0,14204 m	0,236 m
Properties											
Volume	8,3806e-005 m³	8,3807e-005 m³	6,4355e-005 m³	6,4364e-005 m³	6,4355e-005 m³	6,4364e-005 m³	3,2552e-005 m³	3,2555e-005 m³	3,2559e-005 m³	3,2553e-005 m³	0,1186 m³
Mass	0,65788 kg	0,65789 kg	0,50197 kg	0,50204 kg	0,50197 kg	0,50204 kg	3,0925e-002 kg	3,0927e-002 kg	3,0931e-002 kg	3,0925e-002 kg	272,77 kg
Centroid X	218,59 m										216,19 m
Centroid Y	16,516 m	16,717 m	18,04 m	16,52 m	16,717 m	18,237 m	18,238 m	18,049 m	16,707 m	16,518 m	17,378 m
Centroid Z	-32,172 m	-32,182 m	-32,154 m	-32,144 m	-32,154 m	-32,144 m	-32,244 m	-32,253 m		-32,244 m	-32,296 m
Moment of Inertia Ip1	1,9119e-003 kg·m²		3,9487e-004 kg·m²	3,9488e-004 kg·m²	3,9486e-004 kg·m²	3,9488e-004 kg·m²	6,0329e-005 kg·m²	6,0305e-005 kg·m²	6,0291e-005 kg·m²	6,0322e-005 kg·m²	159,38 kg·m²
Moment of Inertia Ip2	1,9091e-003 kg·m²	1,9092e-003 kg·m²	1,145e-003 kg·m²				6,0305e-005 kg·m²	6,028e-005 kg·m²	6,0267e-005 kg·m²	6,0298e-005 kg·m²	2,3121 kg·m²
Moment of Inertia Ip3	7,1613e-005 kg·m²		1,487e-003 kg·m²				4,5653e-006 kg·m²	4,5637e-006 kg·m²	4,5629e-006 kg·m²	4,5651e-006 kg·m²	159,81 kg·m²
Statistics											
Nodes	7796	7656	2169	2164	2090	2136	16307	16708	17006	16045	18091
Elements	4124	4044	982	981	938	962	8616	8907	9114	8453	11396
Mesh Metric	None										
CAD Attributes											
PartTolerance:	0,00000001										
Color:143.175.143											
Color:159.143.175											
Color:175.175.143											
Color:143.159.175											
Color:175.143.143											
Color:143.175.159											
Color:175.143.175											
Color:159.175.143											
Color:143.143.175											
Color:175.159.143											
Color:143.175.175											

TABLE 10
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	SYS-1 Solid78	SYS-1 Solid79	SYS-1 Solid80	SYS-1 Solid81	SYS-1 Solid82	SYS-1 Solid83	SYS-1 Solid84	SYS-1 Solid85	SYS-1 Solid86	SYS-1 Solid87	SYS-1 Solid88
State	Meshed										
Graphics Properties											
Visible	Yes										
Transparency	1										
Definition											
Suppressed	No										
Stiffness Behavior	Flexible										
Coordinate System	Default Coordinate System										
Reference Temperature	By Environment										
Behavior	None										
Material											

Assignment	Pad		Codo-Pad				Rail y Tirafondos				Clip
Nonlinear Effects	Yes										
Thermal Strain Effects	Yes										
Bounding Box											
Length X	0,18001 m		0,11 m				5,0003e-002 m				0,16299 m
Length Y	0,1599 m		8,1133e-002 m	8,1581e-002 m	8,1131e-002 m	8,1581e-002 m	5,0116e-002 m	5,7508e-002 m	5,0114e-002 m	5,8363e-002 m	8,5499e-002 m
Length Z	2,2369e-002 m		3,701e-002 m	4,158e-002 m	3,701e-002 m	4,158e-002 m	0,19616 m	0,19534 m	0,19619 m	0,19525 m	4,4449e-002 m
Properties											
Volume	1,7693e-004 m³		1,2971e-004 m³				8,3806e-005 m³	8,3808e-005 m³	8,3806e-005 m³	8,3807e-005 m³	6,4355e-005 m³
Mass	0,15039 kg		0,17641 kg				0,65788 kg	0,6579 kg	0,65788 kg	0,65789 kg	0,50197 kg
Centroid X	216,19 m										
Centroid Y	18,14 m	16,617 m	18,254 m	18,024 m	16,502 m	16,732 m	18,241 m	18,039 m	16,516 m	16,717 m	18,04 m
Centroid Z	-32,174 m		-32,166 m	-32,177 m	-32,166 m	-32,177 m	-32,172 m	-32,182 m	-32,172 m	-32,182 m	-32,154 m
Moment of Inertia Ip1	2,7738e-004 kg·m²	2,7739e-004 kg·m²	1,0761e-004 kg·m²				1,9119e-003 kg·m²	1,912e-003 kg·m²			3,9486e-004 kg·m²
Moment of Inertia Ip2	4,749e-004 kg·m²		1,8901e-004 kg·m²				1,9092e-003 kg·m²				1,145e-003 kg·m²
Moment of Inertia Ip3	7,4996e-004 kg·m²	7,4997e-004 kg·m²	2,8261e-004 kg·m²	2,826e-004 kg·m²			7,1605e-005 kg·m²	7,1607e-005 kg·m²		7,1608e-005 kg·m²	1,487e-003 kg·m²
Statistics											
Nodes	5874	5547	3628	3674	3572	3706	7667	7678	7842	7622	2175
Elements	2935	2735	1969	1999	1918	2029	4025	4036	4153	4011	986
Mesh Metric	None										
CAD Attributes											
PartTolerance:	0,00000001										
Color:175.143.159											
Color:143.175.143											
Color:159.143.175											
Color:175.175.143											
Color:143.159.175											
Color:175.143.143											
Color:143.175.159											
Color:175.143.175											
Color:159.175.143											
Color:143.143.175											
Color:175.159.143											

TABLE 11
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	SYS-1 Solid89	SYS-1 Solid90	SYS-1 Solid91	SYS-1 Solid92	SYS-1 Solid93	SYS-1 Solid94	SYS-1 Solid95	SYS-1 Solid96	SYS-1 Solid97	SYS-1 Solid98	SYS-1 Solid99
State	Meshed										
Graphics Properties											
Visible	Yes										
Transparency	1										
Definition											
Suppressed	No										
Stiffness Behavior	Flexible										
Coordinate System	Default Coordinate System										
Reference Temperature	By Environment										
Behavior	None										
Material											
Assignment	Clip			Vainas				Rail y Tirafondos		Subbalasto	Balasto
Nonlinear Effects	Yes										
Thermal Strain Effects	Yes										
Bounding Box											
Length X	0,16299 m			3,5995e-002 m				2,92 m		3,02 m	
Length Y	8,7675e-002 m	8,5501e-002 m	8,7673e-002 m	3,7304e-002 m	4,9501e-002 m	4,9923e-002 m	3,7069e-002 m	0,15011 m		6,034 m	5,134 m

Length Z	4,0401e-002 m	4,4449e-002 m	4,0401e-002 m	0,14204 m	0,14385 m		0,14204 m	0,17578 m		0,3 m	0,5 m
Properties											
Volume	6,4364e-005 m³	6,4355e-005 m³	6,4363e-005 m³	3,2552e-005 m³	3,2555e-005 m³	3,2559e-005 m³	3,2553e-005 m³	2,24e-002 m³		5,0591 m³	6,1018 m³
Mass	0,50204 kg	0,50197 kg	0,50203 kg	3,0925e-002 kg	3,0927e-002 kg	3,0931e-002 kg	3,0925e-002 kg	175,84 kg		8094,6 kg	10983 kg
Centroid X	216,19 m							217,39 m			
Centroid Y	16,52 m	16,717 m	18,237 m	18,238 m	18,049 m	16,707 m	16,518 m	16,621 m	18,135 m	17,378 m	
Centroid Z	-32,144 m	-32,154 m	-32,144 m	-32,244 m	-32,253 m		-32,244 m	-32,089 m		-32,874 m	-32,499 m
Moment of Inertia Ip1	3,9487e-004 kg·m²	3,9486e-004 kg·m²	3,9487e-004 kg·m²	6,033e-005 kg·m²	6,031e-005 kg·m²	6,0309e-005 kg·m²	6,0334e-005 kg·m²	0,81383 kg·m²	0,81384 kg·m²	21230 kg·m²	19333 kg·m²
Moment of Inertia Ip2	1,145e-003 kg·m²			6,0305e-005 kg·m²	6,0286e-005 kg·m²	6,0284e-005 kg·m²	6,0309e-005 kg·m²	125,72 kg·m²		6212,6 kg·m²	8592,7 kg·m²
Moment of Inertia Ip3	1,487e-003 kg·m²			4,5652e-006 kg·m²	4,5641e-006 kg·m²	4,5639e-006 kg·m²	4,5656e-006 kg·m²	125,14 kg·m²		27322 kg·m²	27500 kg·m²
Statistics											
Nodes	2173	2086	2141	16309	16677	16990	16054	7437	7560	49482	82154
Elements	987	933	965	8618	8878	9102	8462	1440	1470	10602	54428
Mesh Metric	None										
CAD Attributes											
PartTolerance:	0,00000001										
Color:143.175.175											
Color:175.143.159											
Color:143.175.143											
Color:159.143.175											
Color:175.175.143											
Color:143.159.175											
Color:175.143.143											
Color:143.175.159											
Color:175.143.175											
Color:159.175.143											
Color:143.143.175											

TABLE 12
Model (B4) > Materials > Vainas Assignment

Model (B4) - Materials - Vainas Assignment									
Object Name	Vainas Assignment	Subbalasto Assignment	Balasto Assignment	Traviesas Assignment	Clip Assignment	Codo-Pad Assignment	Pad Assignment	Rail y Tirafondos Assignment	Rail y Tirafondos Assignment 2
State	Fully Defined								
General									
Scoping Method	Named Selection								
Named Selection	Vainas	Subbalasto	Balasto	Traviesas	Clips	Codo-Pad	Pads	Railes	Tirafondos
Definition									
Material	Vainas	Subbalasto	Balasto	Traviesas	Clip	Codo-Pad	Pad	Rail y Tirafondos	
Nonlinear Effects	Yes								
Thermal Strain Effects	Yes								
Reference Temperature	By Environment								
Suppressed	No								

Coordinate Systems

TABLE 13
Model (B4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	Global Coordinate System
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0,
Origin	
Origin X	0, m

Origin Y	0, m
Origin Z	0, m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1, 0, 0,]
Y Axis Data	[0, 1, 0,]
Z Axis Data	[0, 0, 1,]

Connections

TABLE 14
Model (B4) > Connections

Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
Transparency	
Enabled	Yes

TABLE 15
Model (B4) > Connections > Contacts

Object Name	<i>Contacts</i>
State	Fully Defined
Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Auto Detection	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0,
Tolerance Value	1,7061e-002 m
Use Range	No
Face/Face	Yes
Face Overlap Tolerance	Off
Cylindrical Faces	Include
Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies
Statistics	
Connections	318
Active Connections	318

TABLE 16
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region	Contact Region 2	Contact Region 3	Contact Region 4	Contact Region 5	Contact Region 6	Contact Region 7	Contact Region 8	Contact Region 9	Contact Region 10	Contact Region 11
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	3 Faces		8 Faces	7 Faces	8 Faces	7 Faces	3 Faces				2 Faces
Target	7 Faces			6 Faces	7 Faces	6 Faces	4 Faces				6 Faces
Contact Bodies	SYS-1\Solid1										
Target Bodies	SYS-1 \Solid2	SYS-1 \Solid3	SYS-1 \Solid4	SYS-1 \Solid5	SYS-1 \Solid6	SYS-1 \Solid7	SYS-1 \Solid8	SYS-1 \Solid9	SYS-1 \Solid10	SYS-1 \Solid11	SYS-1 \Solid12
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,7061e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										

Detection Method	Program Controlled
Penetration Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled
Geometric Modification	
Contact Geometry Correction	None
Target Geometry Correction	None

TABLE 17
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 12	Contact Region 13	Contact Region 14	Contact Region 15	Contact Region 16	Contact Region 17	Contact Region 18	Contact Region 19	Contact Region 20	Contact Region 21	Contact Region 22
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	3 Faces	2 Faces	3 Faces	4 Faces				1 Face		17 Faces	9 Faces
Target	6 Faces			12 Faces				3 Faces		17 Faces	3 Faces
Contact Bodies	SYS-1\Solid1										SYS-1\Solid2
Target Bodies	SYS-1\Solid13	SYS-1\Solid14	SYS-1\Solid15	SYS-1\Solid16	SYS-1\Solid17	SYS-1\Solid18	SYS-1\Solid19	SYS-1\Solid96	SYS-1\Solid97	SYS-1\Solid99	SYS-1\Solid4
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,7061e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 18
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 23	Contact Region 24	Contact Region 25	Contact Region 26	Contact Region 27	Contact Region 28	Contact Region 29	Contact Region 30	Contact Region 31	Contact Region 32	Contact Region 33
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping	Geometry Selection										

Method											
Contact	9 Faces	1 Face				3 Faces	9 Faces		1 Face		
Target	3 Faces	1 Face		4 Faces		3 Faces			1 Face		4 Faces
Contact Bodies	SYS-1\Solid2						SYS-1\Solid3				
Target Bodies	SYS-1 \Solid5	SYS-1 \Solid8	SYS-1 \Solid9	SYS-1 \Solid12	SYS-1 \Solid15	SYS-1 \Solid97	SYS-1 \Solid6	SYS-1 \Solid7	SYS-1 \Solid10	SYS-1 \Solid11	SYS-1 \Solid13
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,7061e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 19
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 34	Contact Region 35	Contact Region 36	Contact Region 37	Contact Region 38	Contact Region 39	Contact Region 40	Contact Region 41	Contact Region 42	Contact Region 43	Contact Region 44
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	1 Face	3 Faces	4 Faces	11 Faces	2 Faces	1 Face	4 Faces	11 Faces	2 Faces	1 Face	4 Faces
Target	4 Faces	3 Faces	2 Faces	22 Faces	1 Face	3 Faces	2 Faces	22 Faces	1 Face	3 Faces	2 Faces
Contact Bodies	SYS-1\Solid3		SYS-1\Solid4				SYS-1\Solid5				SYS-1\Solid6
Target Bodies	SYS-1\Solid14	SYS-1\Solid96	SYS-1\Solid8	SYS-1\Solid15	SYS-1\Solid16	SYS-1\Solid97	SYS-1\Solid9	SYS-1\Solid12	SYS-1\Solid17	SYS-1\Solid97	SYS-1\Solid10
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,7061e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										

Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled
Geometric Modification	
Contact Geometry Correction	None
Target Geometry Correction	None

TABLE 20
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 45	Contact Region 46	Contact Region 47	Contact Region 48	Contact Region 49	Contact Region 50	Contact Region 51	Contact Region 52	Contact Region 53	Contact Region 54	Contact Region 55
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	11 Faces	2 Faces	1 Face	4 Faces	11 Faces	2 Faces	1 Face	3 Faces	6 Faces	2 Faces	6 Faces
Target	22 Faces	1 Face	3 Faces	2 Faces	22 Faces	1 Face	3 Faces	10 Faces			
Contact Bodies	SYS-1\Solid6			SYS-1\Solid7				SYS-1\Solid8		SYS-1\Solid9	
Target Bodies	SYS-1 \Solid13	SYS-1 \Solid19	SYS-1 \Solid96	SYS-1 \Solid11	SYS-1 \Solid14	SYS-1 \Solid18	SYS-1 \Solid96	SYS-1 \Solid15	SYS-1 \Solid16	SYS-1 \Solid12	SYS-1 \Solid17
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,7061e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 21
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 56	Contact Region 57	Contact Region 58	Contact Region 59	Contact Region 60	Contact Region 61	Contact Region 62	Contact Region 63	Contact Region 64	Contact Region 65	Contact Region 66	
State	Fully Defined											
Scope												
Scoping Method	Geometry Selection											
Contact	2 Faces	6 Faces	2 Faces	6 Faces	8 Faces				3 Faces		8 Faces	
Target	10 Faces			11 Faces		2 Faces				7 Faces		
Contact Bodies	SYS-1\Solid10		SYS-1\Solid11		SYS-1\Solid12	SYS-1\Solid13	SYS-1\Solid14	SYS-1\Solid15	SYS-1\Solid20			
Target Bodies	SYS-1\Solid13	SYS-1\Solid19	SYS-1\Solid14	SYS-1\Solid18	SYS-1\Solid97	SYS-1\Solid96		SYS-1\Solid97	SYS-1\Solid21	SYS-1\Solid22	SYS-1\Solid23	

Protected	No
Definition	
Type	Bonded
Scope Mode	Automatic
Behavior	Program Controlled
Trim Contact	Program Controlled
Trim Tolerance	1,7061e-002 m
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Program Controlled
Small Sliding	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Penetration Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled
Geometric Modification	
Contact Geometry Correction	None
Target Geometry Correction	None

TABLE 22
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 67	Contact Region 68	Contact Region 69	Contact Region 70	Contact Region 71	Contact Region 72	Contact Region 73	Contact Region 74	Contact Region 75	Contact Region 76	Contact Region 77
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	7 Faces	8 Faces	7 Faces	3 Faces				2 Faces	3 Faces	2 Faces	3 Faces
Target	6 Faces	7 Faces	6 Faces	4 Faces				6 Faces			
Contact Bodies	SYS-1\Solid20										
Target Bodies	SYS-1 \Solid24	SYS-1 \Solid25	SYS-1 \Solid26	SYS-1 \Solid27	SYS-1 \Solid28	SYS-1 \Solid29	SYS-1 \Solid30	SYS-1 \Solid31	SYS-1 \Solid32	SYS-1 \Solid33	SYS-1 \Solid34
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,7061e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geomtry	None										

Correction	
Target Geometry Correction	None

TABLE 23
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 78	Contact Region 79	Contact Region 80	Contact Region 81	Contact Region 82	Contact Region 83	Contact Region 84	Contact Region 85	Contact Region 86	Contact Region 87	Contact Region 88	
State	Fully Defined											
Scope												
Scoping Method	Geometry Selection											
Contact	4 Faces				1 Face		17 Faces	9 Faces		1 Face		
Target	12 Faces				3 Faces		17 Faces	3 Faces		1 Face		
Contact Bodies	SYS-1\Solid20							SYS-1\Solid21				
Target Bodies	SYS-1 \Solid35	SYS-1 \Solid36	SYS-1 \Solid37	SYS-1 \Solid38	SYS-1 \Solid96	SYS-1 \Solid97	SYS-1 \Solid99	SYS-1 \Solid23	SYS-1 \Solid24	SYS-1 \Solid27	SYS-1 \Solid28	
Protected	No											
Definition												
Type	Bonded											
Scope Mode	Automatic											
Behavior	Program Controlled											
Trim Contact	Program Controlled											
Trim Tolerance	1,7061e-002 m											
Suppressed	No											
Advanced												
Formulation	Program Controlled											
Small Sliding	Program Controlled											
Detection Method	Program Controlled											
Penetration Tolerance	Program Controlled											
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled											
Normal Stiffness	Program Controlled											
Update Stiffness	Program Controlled											
Pinball Region	Program Controlled											
Geometric Modification												
Contact Geometry Correction	None											
Target Geometry Correction	None											

TABLE 24
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 89	Contact Region 90	Contact Region 91	Contact Region 92	Contact Region 93	Contact Region 94	Contact Region 95	Contact Region 96	Contact Region 97	Contact Region 98	Contact Region 99	
State	Fully Defined											
Scope												
Scoping Method	Geometry Selection											
Contact	1 Face		3 Faces	9 Faces		1 Face			3 Faces		4 Faces	
Target	4 Faces		3 Faces			1 Face		4 Faces		3 Faces	2 Faces	
Contact Bodies	SYS-1\Solid21			SYS-1\Solid22							SYS-1\Solid23	
Target Bodies	SYS-1\Solid31	SYS-1\Solid34	SYS-1\Solid97	SYS-1\Solid25	SYS-1\Solid26	SYS-1\Solid29	SYS-1\Solid30	SYS-1\Solid32	SYS-1\Solid33	SYS-1\Solid96	SYS-1\Solid27	
Protected	No											
Definition												
Type	Bonded											
Scope Mode	Automatic											
Behavior	Program Controlled											
Trim Contact	Program Controlled											
Trim												

Tolerance	1,7061e-002 m
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Program Controlled
Small Sliding	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Penetration Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled
Geometric Modification	
Contact Geometry Correction	None
Target Geometry Correction	None

TABLE 25
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 100	Contact Region 101	Contact Region 102	Contact Region 103	Contact Region 104	Contact Region 105	Contact Region 106	Contact Region 107	Contact Region 108	Contact Region 109	Contact Region 110
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	10 Faces	2 Faces	1 Face	4 Faces	10 Faces	2 Faces	1 Face	4 Faces	11 Faces	2 Faces	1 Face
Target	22 Faces	1 Face	3 Faces	2 Faces	22 Faces	1 Face	3 Faces	2 Faces	22 Faces	1 Face	3 Faces
Contact Bodies	SYS-1\Solid23			SYS-1\Solid24				SYS-1\Solid25			
Target Bodies	SYS-1 \Solid34	SYS-1 \Solid35	SYS-1 \Solid97	SYS-1 \Solid28	SYS-1 \Solid31	SYS-1 \Solid36	SYS-1 \Solid97	SYS-1 \Solid29	SYS-1 \Solid32	SYS-1 \Solid38	SYS-1 \Solid96
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,7061e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 26
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Object Name	Contact Region 111	Contact Region 112	Contact Region 113	Contact Region 114	Contact Region 115	Contact Region 116	Contact Region 117	Contact Region 118	Contact Region 119	Contact Region 120	Contact Region 121
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	4 Faces	10 Faces	2 Faces	1 Face	3 Faces	6 Faces	2 Faces	6 Faces	3 Faces	6 Faces	3 Faces
Target	2 Faces	22 Faces	1 Face	3 Faces	10 Faces						
Contact Bodies	SYS-1\Solid26				SYS-1\Solid27		SYS-1\Solid28		SYS-1\Solid29		SYS-1 \Solid30
Target Bodies	SYS-1 \Solid30	SYS-1 \Solid33	SYS-1 \Solid37	SYS-1 \Solid96	SYS-1 \Solid34	SYS-1 \Solid35	SYS-1 \Solid31	SYS-1 \Solid36	SYS-1 \Solid32	SYS-1 \Solid38	SYS-1 \Solid33
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,7061e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 27
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions											
Object Name	Contact Region 122	Contact Region 123	Contact Region 124	Contact Region 125	Contact Region 126	Contact Region 127	Contact Region 128	Contact Region 129	Contact Region 130	Contact Region 131	Contact Region 132
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	6 Faces	8 Faces				3 Faces		8 Faces	7 Faces	8 Faces	7 Faces
Target	10 Faces	2 Faces				7 Faces			6 Faces	7 Faces	6 Faces
Contact Bodies	SYS-1 \Solid30	SYS-1 \Solid31	SYS-1 \Solid32	SYS-1 \Solid33	SYS-1 \Solid34	SYS-1\Solid39					
Target Bodies	SYS-1 \Solid37	SYS-1 \Solid97	SYS-1\Solid96		SYS-1 \Solid97	SYS-1 \Solid40	SYS-1 \Solid41	SYS-1 \Solid42	SYS-1 \Solid43	SYS-1 \Solid44	SYS-1 \Solid45
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,7061e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										

Penetration Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled
Geometric Modification	
Contact Geometry Correction	None
Target Geometry Correction	None

TABLE 28
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 133	Contact Region 134	Contact Region 135	Contact Region 136	Contact Region 137	Contact Region 138	Contact Region 139	Contact Region 140	Contact Region 141	Contact Region 142	Contact Region 143
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	3 Faces				2 Faces	3 Faces	2 Faces	3 Faces	4 Faces		
Target	4 Faces				6 Faces				12 Faces		
Contact Bodies	SYS-1\\Solid39										
Target Bodies	SYS-1 \\Solid46	SYS-1 \\Solid47	SYS-1 \\Solid48	SYS-1 \\Solid49	SYS-1 \\Solid50	SYS-1 \\Solid51	SYS-1 \\Solid52	SYS-1 \\Solid53	SYS-1 \\Solid54	SYS-1 \\Solid55	SYS-1 \\Solid56
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,7061e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 29
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions											
Object Name	Contact Region 144	Contact Region 145	Contact Region 146	Contact Region 147	Contact Region 148	Contact Region 149	Contact Region 150	Contact Region 151	Contact Region 152	Contact Region 153	Contact Region 154
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										

Contact	4 Faces	1 Face	17 Faces	9 Faces	1 Face		3 Faces				
Target	12 Faces	3 Faces	17 Faces	3 Faces	1 Face	4 Faces	3 Faces				
Contact Bodies	SYS-1\Solid39				SYS-1\Solid40						
Target Bodies	SYS-1 \Solid57	SYS-1 \Solid96	SYS-1 \Solid97	SYS-1 \Solid99	SYS-1 \Solid42	SYS-1 \Solid43	SYS-1 \Solid46	SYS-1 \Solid47	SYS-1 \Solid50	SYS-1 \Solid53	SYS-1 \Solid97
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,7061e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 30
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions											
Object Name	Contact Region 155	Contact Region 156	Contact Region 157	Contact Region 158	Contact Region 159	Contact Region 160	Contact Region 161	Contact Region 162	Contact Region 163	Contact Region 164	Contact Region 165
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	9 Faces		1 Face				3 Faces	4 Faces	11 Faces	2 Faces	1 Face
Target	3 Faces		1 Face		4 Faces		3 Faces	2 Faces	22 Faces	1 Face	3 Faces
Contact Bodies	SYS-1\Solid41							SYS-1\Solid42			
Target Bodies	SYS-1 \Solid44	SYS-1 \Solid45	SYS-1 \Solid48	SYS-1 \Solid49	SYS-1 \Solid51	SYS-1 \Solid52	SYS-1 \Solid96	SYS-1 \Solid46	SYS-1 \Solid53	SYS-1 \Solid54	SYS-1 \Solid97
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,7061e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update											

Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled
Geometric Modification	
Contact Geometry Correction	None
Target Geometry Correction	None

TABLE 31
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 166	Contact Region 167	Contact Region 168	Contact Region 169	Contact Region 170	Contact Region 171	Contact Region 172	Contact Region 173	Contact Region 174	Contact Region 175	Contact Region 176
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	4 Faces	10 Faces	2 Faces	1 Face	4 Faces	10 Faces	2 Faces	1 Face	4 Faces	11 Faces	2 Faces
Target	2 Faces	22 Faces	1 Face	3 Faces	2 Faces	22 Faces	1 Face	3 Faces	2 Faces	22 Faces	1 Face
Contact Bodies	SYS-1\Solid43				SYS-1\Solid44				SYS-1\Solid45		
Target Bodies	SYS-1 \Solid47	SYS-1 \Solid50	SYS-1 \Solid55	SYS-1 \Solid97	SYS-1 \Solid48	SYS-1 \Solid51	SYS-1 \Solid57	SYS-1 \Solid96	SYS-1 \Solid49	SYS-1 \Solid52	SYS-1 \Solid56
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,7061e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 32
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 177	Contact Region 178	Contact Region 179	Contact Region 180	Contact Region 181	Contact Region 182	Contact Region 183	Contact Region 184	Contact Region 185	Contact Region 186	Contact Region 187
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	1 Face	2 Faces	6 Faces	3 Faces	6 Faces	3 Faces	6 Faces	2 Faces	6 Faces	8 Faces	
Target	3 Faces	10 Faces								2 Faces	
Contact Bodies	SYS-1 \Solid45	SYS-1\Solid46		SYS-1\Solid47		SYS-1\Solid48		SYS-1\Solid49		SYS-1 \Solid50	SYS-1 \Solid51
Target Bodies	SYS-1 \Solid96	SYS-1 \Solid53	SYS-1 \Solid54	SYS-1 \Solid50	SYS-1 \Solid55	SYS-1 \Solid51	SYS-1 \Solid57	SYS-1 \Solid52	SYS-1 \Solid56	SYS-1 \Solid97	SYS-1 \Solid96
Protected	No										

Definition	
Type	Bonded
Scope Mode	Automatic
Behavior	Program Controlled
Trim Contact	Program Controlled
Trim Tolerance	1,7061e-002 m
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Program Controlled
Small Sliding	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Penetration Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled
Geometric Modification	
Contact Geometry Correction	None
Target Geometry Correction	None

TABLE 33
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 188	Contact Region 189	Contact Region 190	Contact Region 191	Contact Region 192	Contact Region 193	Contact Region 194	Contact Region 195	Contact Region 196	Contact Region 197	Contact Region 198
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	8 Faces		3 Faces		8 Faces	7 Faces	8 Faces	7 Faces	3 Faces		
Target	2 Faces		7 Faces			6 Faces	7 Faces	6 Faces	4 Faces		
Contact Bodies	SYS-1 \Solid52	SYS-1 \Solid53	SYS-1\Solid58								
Target Bodies	SYS-1 \Solid96	SYS-1 \Solid97	SYS-1 \Solid59	SYS-1 \Solid60	SYS-1 \Solid61	SYS-1 \Solid62	SYS-1 \Solid63	SYS-1 \Solid64	SYS-1 \Solid65	SYS-1 \Solid66	SYS-1 \Solid67
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,7061e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										

Target Geometry Correction	None
----------------------------	------

TABLE 34
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 199	Contact Region 200	Contact Region 201	Contact Region 202	Contact Region 203	Contact Region 204	Contact Region 205	Contact Region 206	Contact Region 207	Contact Region 208	Contact Region 209
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	3 Faces	2 Faces	3 Faces	2 Faces	3 Faces	4 Faces				1 Face	
Target	4 Faces	6 Faces				13 Faces	12 Faces			3 Faces	
Contact Bodies	SYS-1\Solid58										
Target Bodies	SYS-1 \Solid68	SYS-1 \Solid69	SYS-1 \Solid70	SYS-1 \Solid71	SYS-1 \Solid72	SYS-1 \Solid73	SYS-1 \Solid74	SYS-1 \Solid75	SYS-1 \Solid76	SYS-1 \Solid96	SYS-1 \Solid97
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,7061e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 35
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 210	Contact Region 211	Contact Region 212	Contact Region 213	Contact Region 214	Contact Region 215	Contact Region 216	Contact Region 217	Contact Region 218	Contact Region 219	Contact Region 220
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	17 Faces	9 Faces		1 Face				3 Faces	9 Faces		1 Face
Target	17 Faces	3 Faces		1 Face		4 Faces		3 Faces			1 Face
Contact Bodies	SYS-1 \Solid58	SYS-1\Solid59							SYS-1\Solid60		
Target Bodies	SYS-1 \Solid99	SYS-1 \Solid61	SYS-1 \Solid62	SYS-1 \Solid65	SYS-1 \Solid66	SYS-1 \Solid69	SYS-1 \Solid72	SYS-1 \Solid97	SYS-1 \Solid63	SYS-1 \Solid64	SYS-1 \Solid67
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,7061e-002 m										

Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Program Controlled
Small Sliding	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Penetration Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled
Geometric Modification	
Contact Geometry Correction	None
Target Geometry Correction	None

TABLE 36
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 221	Contact Region 222	Contact Region 223	Contact Region 224	Contact Region 225	Contact Region 226	Contact Region 227	Contact Region 228	Contact Region 229	Contact Region 230	Contact Region 231
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	1 Face			3 Faces	4 Faces	10 Faces	2 Faces	1 Face	4 Faces	11 Faces	2 Faces
Target	1 Face	4 Faces		3 Faces	2 Faces	22 Faces	1 Face	3 Faces	2 Faces	22 Faces	1 Face
Contact Bodies	SYS-1\Solid60				SYS-1\Solid61				SYS-1\Solid62		
Target Bodies	SYS-1 \Solid68	SYS-1 \Solid70	SYS-1 \Solid71	SYS-1 \Solid96	SYS-1 \Solid65	SYS-1 \Solid72	SYS-1 \Solid73	SYS-1 \Solid97	SYS-1 \Solid66	SYS-1 \Solid69	SYS-1 \Solid74
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,7061e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 37
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

	Contact	Contact	Contact	Contact	Contact	Contact	Contact	Contact	Contact	Contact	Contact
--	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Object Name	Region 232	Region 233	Region 234	Region 235	Region 236	Region 237	Region 238	Region 239	Region 240	Region 241	Region 242
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	1 Face	4 Faces	12 Faces	2 Faces	1 Face	4 Faces	10 Faces	2 Faces	1 Face	3 Faces	6 Faces
Target	3 Faces	2 Faces	22 Faces	1 Face	3 Faces	2 Faces	22 Faces	1 Face	3 Faces	10 Faces	
Contact Bodies	SYS-1 \Solid62	SYS-1\Solid63				SYS-1\Solid64				SYS-1\Solid65	
Target Bodies	SYS-1 \Solid97	SYS-1 \Solid67	SYS-1 \Solid70	SYS-1 \Solid76	SYS-1 \Solid96	SYS-1 \Solid68	SYS-1 \Solid71	SYS-1 \Solid75	SYS-1 \Solid96	SYS-1 \Solid72	SYS-1 \Solid73
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,7061e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 38
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 243	Contact Region 244	Contact Region 245	Contact Region 246	Contact Region 247	Contact Region 248	Contact Region 249	Contact Region 250	Contact Region 251	Contact Region 252	Contact Region 253
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	3 Faces	6 Faces	1 Face	3 Faces	6 Faces	1 Face	2 Faces	6 Faces	8 Faces		
Target	10 Faces		3 Faces	10 Faces		3 Faces	10 Faces		2 Faces		
Contact Bodies	SYS-1\Solid66			SYS-1\Solid67			SYS-1\Solid68		SYS-1\Solid69	SYS-1\Solid70	SYS-1\Solid71
Target Bodies	SYS-1\Solid69	SYS-1\Solid74	SYS-1\Solid97	SYS-1\Solid70	SYS-1\Solid76	SYS-1\Solid96	SYS-1\Solid71	SYS-1\Solid75	SYS-1\Solid97	SYS-1\Solid96	
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,7061e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration											

Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled
Geometric Modification	
Contact Geometry Correction	None
Target Geometry Correction	None

TABLE 39
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 254	Contact Region 255	Contact Region 256	Contact Region 257	Contact Region 258	Contact Region 259	Contact Region 260	Contact Region 261	Contact Region 262	Contact Region 263	Contact Region 264
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	8 Faces	3 Faces		8 Faces	7 Faces	8 Faces	7 Faces	3 Faces			
Target	2 Faces	7 Faces			6 Faces	7 Faces	6 Faces	4 Faces			
Contact Bodies	SYS-1 \Solid72	SYS-1\Solid77									
Target Bodies	SYS-1 \Solid97	SYS-1 \Solid78	SYS-1 \Solid79	SYS-1 \Solid80	SYS-1 \Solid81	SYS-1 \Solid82	SYS-1 \Solid83	SYS-1 \Solid84	SYS-1 \Solid85	SYS-1 \Solid86	SYS-1 \Solid87
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,7061e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 40
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions											
Object Name	Contact Region 265	Contact Region 266	Contact Region 267	Contact Region 268	Contact Region 269	Contact Region 270	Contact Region 271	Contact Region 272	Contact Region 273	Contact Region 274	Contact Region 275
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	2 Faces	3 Faces	2 Faces	3 Faces	4 Faces				1 Face		17 Faces

Target	6 Faces				12 Faces				3 Faces		17 Faces	
Contact Bodies	SYS-1\Solid77											
Target Bodies	SYS-1 \Solid88	SYS-1 \Solid89	SYS-1 \Solid90	SYS-1 \Solid91	SYS-1 \Solid92	SYS-1 \Solid93	SYS-1 \Solid94	SYS-1 \Solid95	SYS-1 \Solid96	SYS-1 \Solid97	SYS-1 \Solid99	
Protected	No											
Definition												
Type	Bonded											
Scope Mode	Automatic											
Behavior	Program Controlled											
Trim Contact	Program Controlled											
Trim Tolerance	1,7061e-002 m											
Suppressed	No											
Advanced												
Formulation	Program Controlled											
Small Sliding	Program Controlled											
Detection Method	Program Controlled											
Penetration Tolerance	Program Controlled											
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled											
Normal Stiffness	Program Controlled											
Update Stiffness	Program Controlled											
Pinball Region	Program Controlled											
Geometric Modification												
Contact Geometry Correction	None											
Target Geometry Correction	None											

TABLE 41
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 276	Contact Region 277	Contact Region 278	Contact Region 279	Contact Region 280	Contact Region 281	Contact Region 282	Contact Region 283	Contact Region 284	Contact Region 285	Contact Region 286	
State	Fully Defined											
Scope												
Scoping Method	Geometry Selection											
Contact	9 Faces		1 Face				3 Faces	9 Faces		1 Face		
Target	3 Faces		1 Face		4 Faces		3 Faces			1 Face		
Contact Bodies	SYS-1\Solid78							SYS-1\Solid79				
Target Bodies	SYS-1 \Solid80	SYS-1 \Solid81	SYS-1 \Solid84	SYS-1 \Solid85	SYS-1 \Solid88	SYS-1 \Solid91	SYS-1 \Solid97	SYS-1 \Solid82	SYS-1 \Solid83	SYS-1 \Solid86	SYS-1 \Solid87	
Protected	No											
Definition												
Type	Bonded											
Scope Mode	Automatic											
Behavior	Program Controlled											
Trim Contact	Program Controlled											
Trim Tolerance	1,7061e-002 m											
Suppressed	No											
Advanced												
Formulation	Program Controlled											
Small Sliding	Program Controlled											
Detection Method	Program Controlled											
Penetration Tolerance	Program Controlled											
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled											
Normal Stiffness	Program Controlled											
Update Stiffness	Program Controlled											

Pinball Region	Program Controlled
Geometric Modification	
Contact Geometry Correction	None
Target Geometry Correction	None

TABLE 42
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 287	Contact Region 288	Contact Region 289	Contact Region 290	Contact Region 291	Contact Region 292	Contact Region 293	Contact Region 294	Contact Region 295	Contact Region 296	Contact Region 297
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	1 Face		3 Faces	4 Faces	10 Faces	2 Faces	1 Face	4 Faces	10 Faces	2 Faces	1 Face
Target	4 Faces		3 Faces	2 Faces	22 Faces	1 Face	3 Faces	2 Faces	22 Faces	1 Face	3 Faces
Contact Bodies	SYS-1\Solid79			SYS-1\Solid80				SYS-1\Solid81			
Target Bodies	SYS-1 \Solid89	SYS-1 \Solid90	SYS-1 \Solid96	SYS-1 \Solid84	SYS-1 \Solid91	SYS-1 \Solid92	SYS-1 \Solid97	SYS-1 \Solid85	SYS-1 \Solid88	SYS-1 \Solid93	SYS-1 \Solid97
Protected	No										
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	1,7061e-002 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Small Sliding	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										
Target Geometry Correction	None										

TABLE 43
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 298	Contact Region 299	Contact Region 300	Contact Region 301	Contact Region 302	Contact Region 303	Contact Region 304	Contact Region 305	Contact Region 306	Contact Region 307	Contact Region 308
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	4 Faces	11 Faces	2 Faces	1 Face	4 Faces	10 Faces	2 Faces	1 Face	2 Faces	6 Faces	2 Faces
Target	2 Faces	22 Faces	1 Face	3 Faces	2 Faces	22 Faces	1 Face	3 Faces	10 Faces		
Contact Bodies	SYS-1\Solid82				SYS-1\Solid83				SYS-1\Solid84		SYS-1\Solid85
Target Bodies	SYS-1\Solid86	SYS-1\Solid89	SYS-1\Solid95	SYS-1\Solid96	SYS-1\Solid87	SYS-1\Solid90	SYS-1\Solid94	SYS-1\Solid96	SYS-1\Solid91	SYS-1\Solid92	SYS-1\Solid88
Protected	No										
Definition											

Type	Bonded
Scope Mode	Automatic
Behavior	Program Controlled
Trim Contact	Program Controlled
Trim Tolerance	1,7061e-002 m
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Program Controlled
Small Sliding	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Penetration Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled
Geometric Modification	
Contact Geometry Correction	None
Target Geometry Correction	None

TABLE 44
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 309	Contact Region 310	Contact Region 311	Contact Region 312	Contact Region 313	Contact Region 314	Contact Region 315	Contact Region 316	Contact Region 317	Contact Region 318
State	Fully Defined									
Scope										
Scoping Method	Geometry Selection									
Contact	6 Faces	3 Faces	6 Faces	2 Faces	6 Faces	8 Faces				1 Face
Target	10 Faces					2 Faces				1 Face
Contact Bodies	SYS-1 \Solid85	SYS-1 \Solid86		SYS-1 \Solid87		SYS-1 \Solid88	SYS-1 \Solid89	SYS-1 \Solid90	SYS-1 \Solid91	SYS-1 \Solid98
Target Bodies	SYS-1 \Solid93	SYS-1 \Solid89	SYS-1 \Solid95	SYS-1 \Solid90	SYS-1 \Solid94	SYS-1 \Solid97	SYS-1 \Solid96		SYS-1 \Solid97	SYS-1 \Solid99
Protected	No									
Definition										
Type	Bonded									
Scope Mode	Automatic									
Behavior	Program Controlled									
Trim Contact	Program Controlled									
Trim Tolerance	1,7061e-002 m									
Suppressed	No									
Advanced										
Formulation	Program Controlled									
Small Sliding	Program Controlled									
Detection Method	Program Controlled									
Penetration Tolerance	Program Controlled									
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled									
Normal Stiffness	Program Controlled									
Update Stiffness	Program Controlled									
Pinball Region	Program Controlled									
Geometric Modification										
Contact Geometry Correction	None									
Target Geometry Correction	None									

Mesh

TABLE 45
Model (B4) > Mesh

Object Name	Mesh
State	Solved
Display	
Display Style	Use Geometry Setting
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled
Element Size	Default
Sizing	
Use Adaptive Sizing	Yes
Resolution	Default (2)
Mesh Defeaturing	Yes
Defeature Size	Default
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Initial Size Seed	Assembly
Bounding Box Diagonal	6,8245 m
Average Surface Area	2,7205e-002 m ²
Minimum Edge Length	1,8821e-004 m
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Statistics	
Nodes	894045
Elements	468563

TABLE 46
Model (B4) > Mesh > Mesh Controls

Object Name	Malla Balasto 0,1 m	Malla SubBalasto 0,1 m	Traviesas 0,05 m	Pads 0,01 m	Codos-Pad 0,01 m	Clips 0,01 m	Tirafondos 0,01 m	Railes 0,1 m
State	Fully Defined							
Scope								
Scoping Method	Named Selection							
Named Selection	Balasto	Subbalasto	Traviesas	Pads	Codo-Pad	Clips	Tirafondos	Railes
Definition								
Suppressed	No							
Type	Element Size							
Element Size	0,1 m		5,e-002 m	1,e-002 m				0,1 m
Advanced								
Defeature Size	Default							
Behavior	Soft							

Named Selections

TABLE 47

Model (B4) > Named Selections > Named Selections

Object Name	Subbalasto	Balasto	Traviesas	Pads	Codo-Pad	Clips	Tirafondos	Railes	Vainas	Pto aplicacion 1	Pto aplicacion 2
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection		Worksheet							Geometry Selection	
Geometry	1 Body		5 Bodies	10 Bodies	20 Bodies			2 Bodies	20 Bodies	1 Node	
Definition											
Send to Solver	Yes										
Protected	Program Controlled										
Visible	Yes										
Program Controlled Inflation	Exclude										
Statistics											
Type	Manual										
Total Selection	1 Body		5 Bodies	10 Bodies	20 Bodies			2 Bodies	20 Bodies	1 Node	
Suppressed	0										
Used by Mesh Worksheet	No										
Tolerance											
Tolerance Type			Program Controlled								
Zero Tolerance			1,e-008								
Relative Tolerance			1,e-003								
Angular Tolerance			1, °								

Static Structural (B5)

TABLE 48
Model (B4) > Analysis

Object Name	Static Structural (B5)
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

TABLE 49
Model (B4) > Static Structural (B5) > Analysis Settings

Object Name	Analysis Settings
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Rotordynamics Controls	
Coriolis Effect	Off
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Combine Restart Files	Program Controlled
Nonlinear Controls	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled

Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	D:\MODELOS TRABAJO FIN DE GRADO Copia\ANSYS\Modelo Proyecto TFG_files\dp0\SYS-1\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Contact Summary	Program Controlled
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

TABLE 50
Model (B4) > Static Structural (B5) > Accelerations

Object Name	Standard Earth Gravity
State	Fully Defined
Scope	
Geometry	All Bodies
Definition	
Coordinate System	Global Coordinate System
X Component	0, m/s ² (ramped)
Y Component	0, m/s ² (ramped)
Z Component	-9,8066 m/s ² (ramped)
Suppressed	No
Direction	-Z Direction

FIGURE 1
Model (B4) > Static Structural (B5) > Standard Earth Gravity

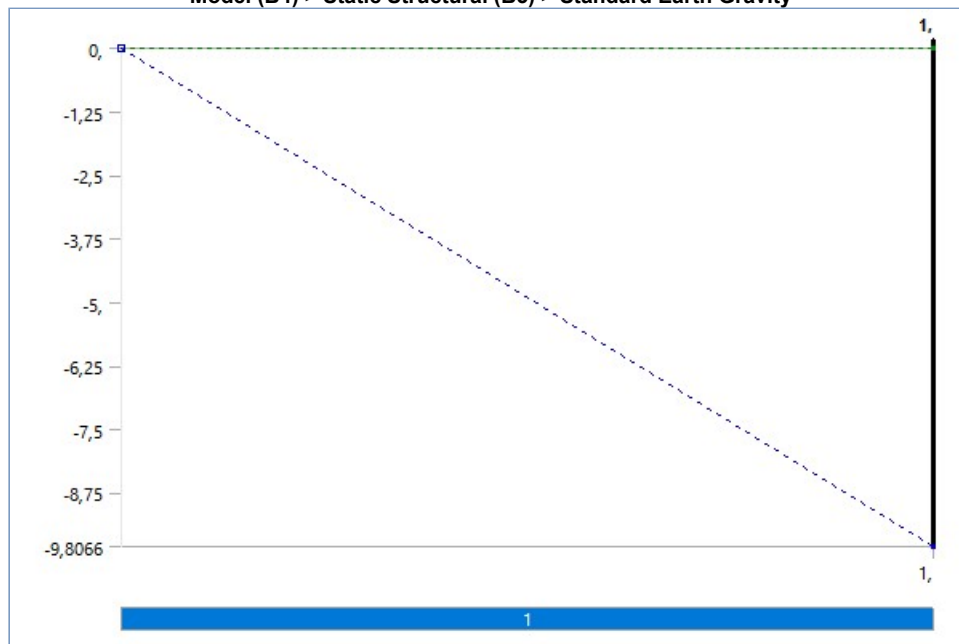


TABLE 51
Model (B4) > Static Structural (B5) > Loads

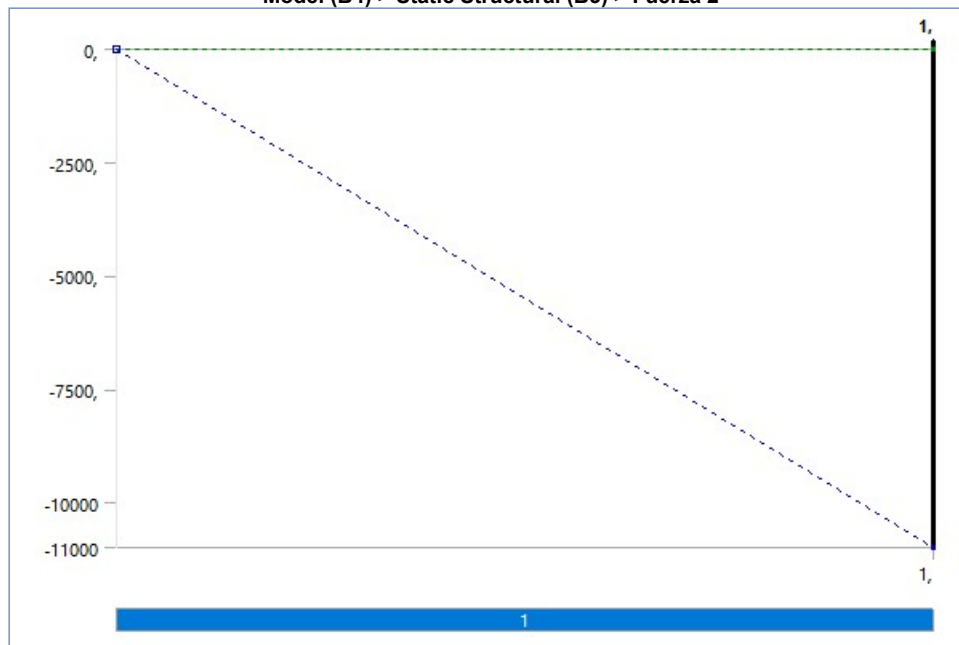
Model (B4) / Static Structural (B5) / Loads			
Object Name	Fixed Support	Fuerza 1	Fuerza 2
State	Fully Defined		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection	Named Selection	
Geometry	1 Face		
Named Selection		Pto aplicacion 1	Pto aplicacion 2
Definition			
Type	Fixed Support	Force	

Suppressed	No
Coordinate System	Nodal Coordinate System
X Component	0, N (ramped)
Y Component	0, N (ramped)
Z Component	-11000 N (ramped)
Divide Load by Nodes	Yes

FIGURE 2
Model (B4) > Static Structural (B5) > Fuerza 1



FIGURE 3
Model (B4) > Static Structural (B5) > Fuerza 2



Solution (B6)

TABLE 52
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution

Object Name	<i>Solution (B6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
Information	
Status	Done

MAPDL Elapsed Time	25 m 6 s
MAPDL Memory Used	11,932 GB
MAPDL Result File Size	513,5 MB
Post Processing	
Beam Section Results	No
On Demand Stress/Strain	No

TABLE 53
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Identify Element Violations	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 54
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Results

Object Name	Total Deformation	Deformation Max Clips	Deformation Max Pads	Deformation Max Codo Pad	Tension Von Mises Clip	Tension Von Mises Codo Pad	Tension Von Mises Pad
State	Solved						
Scope							
Scoping Method	Geometry Selection	Named Selection					
Geometry	All Bodies						
Named Selection		Clips	Pads	Codo-Pad	Clips	Codo-Pad	Pads
Definition							
Type	Total Deformation				Equivalent (von-Mises) Stress		
By	Time						
Display Time	Last						
Calculate Time History	Yes						
Identifier							
Suppressed	No						
Results							
Minimum	0, m	1,6563e-005 m	1,6356e-005 m	1,6878e-005 m	606,04 Pa	274,76 Pa	38,388 Pa
Maximum	5,9909e-005 m	4,3211e-005 m	4,4901e-005 m	4,2403e-005 m	7,1144e+006 Pa	1,2943e+006 Pa	1,8494e+005 Pa
Average	2,3499e-005 m	2,5765e-005 m	2,6231e-005 m	2,5704e-005 m	1,6176e+005 Pa	53376 Pa	5769,3 Pa
Minimum Occurs On	SYS-1 \Solid98	SYS-1\Solid90	SYS-1\Solid79	SYS-1\Solid82	SYS-1\Solid88	SYS-1\Solid63	SYS-1\Solid79
Maximum Occurs On	SYS-1 \Solid97	SYS-1\Solid31	SYS-1\Solid21	SYS-1\Solid24	SYS-1\Solid31	SYS-1\Solid24	SYS-1\Solid21
Information							
Time	1, s						
Load Step	1						
Substep	1						
Iteration Number	1						
Integration Point Results							
Display Option					Averaged		
Average Across Bodies					No		

FIGURE 4
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Total Deformation

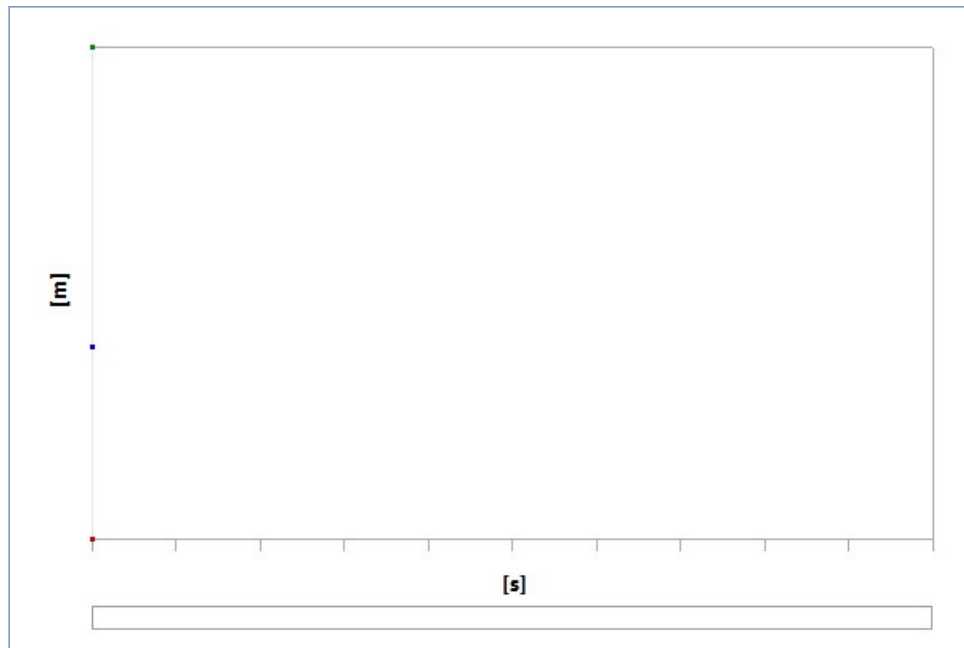


TABLE 55
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Total Deformation

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]	Average [m]
1,	0,	5,9909e-005	2,3499e-005

FIGURE 5
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Deformacion Max Clips

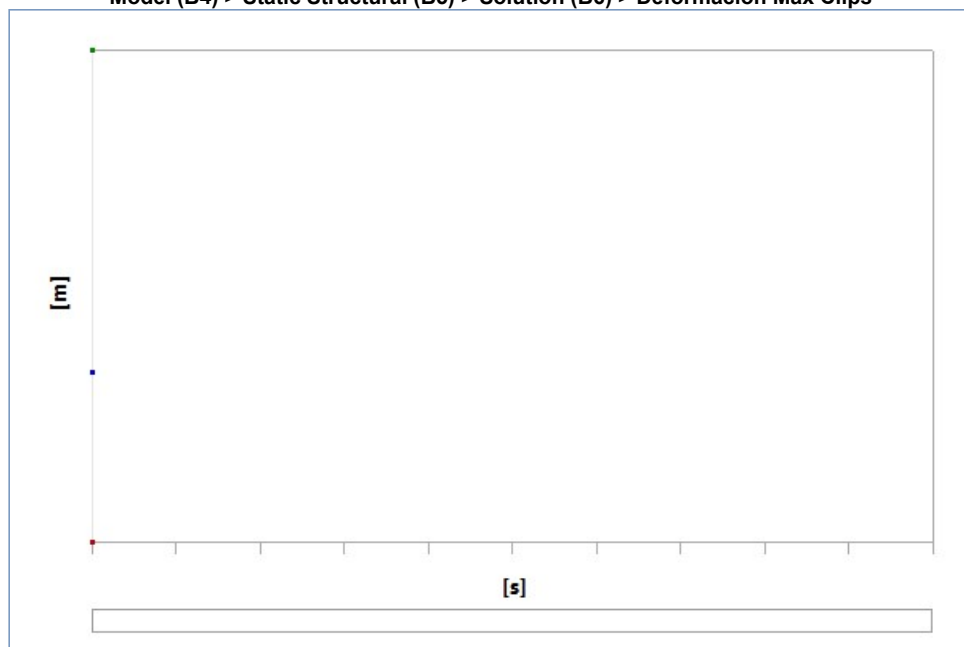


TABLE 56
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Deformacion Max Clips

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]	Average [m]
1,	1,6563e-005	4,3211e-005	2,5765e-005

FIGURE 6
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Deformacion Max Pads

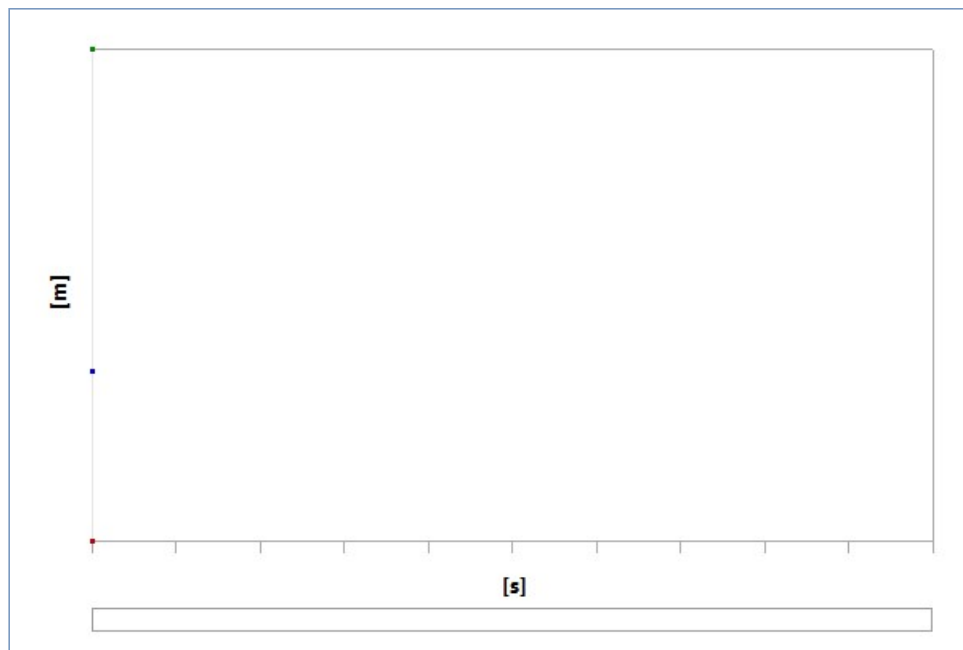


TABLE 57
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Deformation Max Pads

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]	Average [m]
1,	1,6356e-005	4,4901e-005	2,6231e-005

FIGURE 7
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Deformacion Max Codo Pad

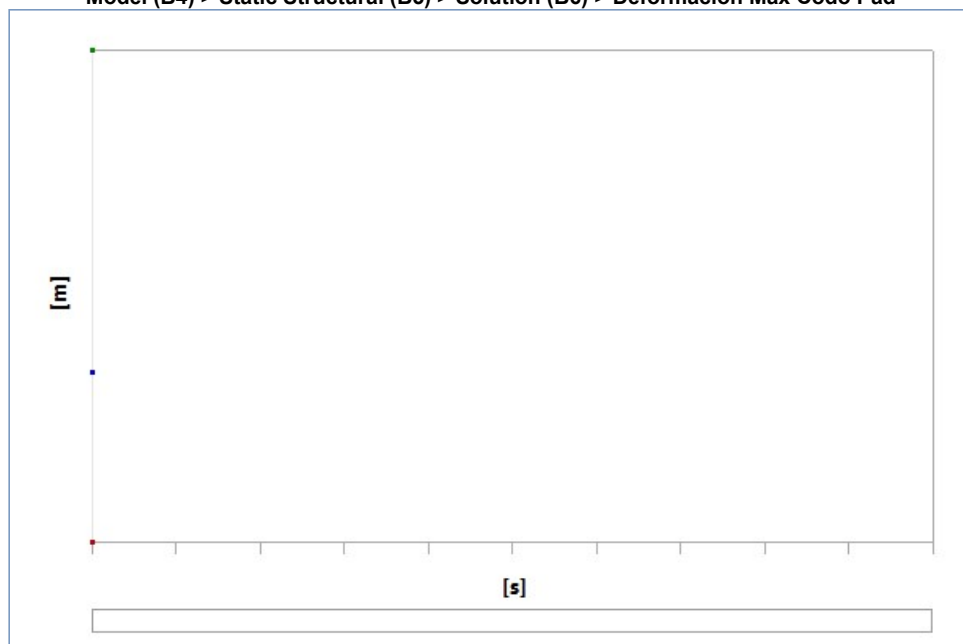


TABLE 58
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Deformacion Max Codo Pad

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]	Average [m]
1,	1,6878e-005	4,2403e-005	2,5704e-005

FIGURE 8
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Tension Von Mises Clip

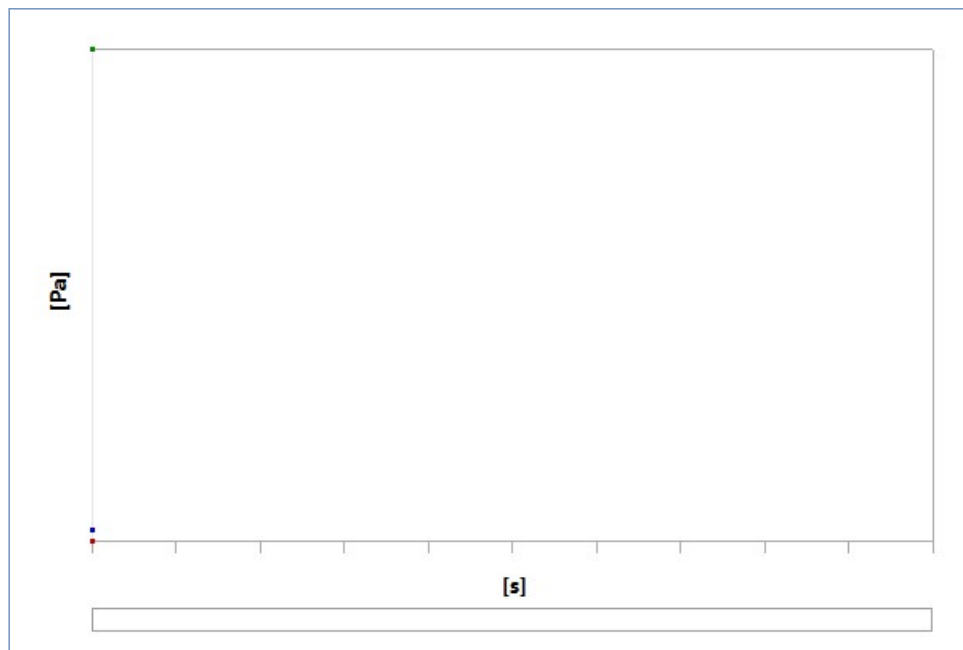


TABLE 59
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Tension Von Mises Clip

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]	Average [Pa]
1,	606,04	7,1144e+006	1,6176e+005

FIGURE 9
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Tension Von Mises Codo Pad

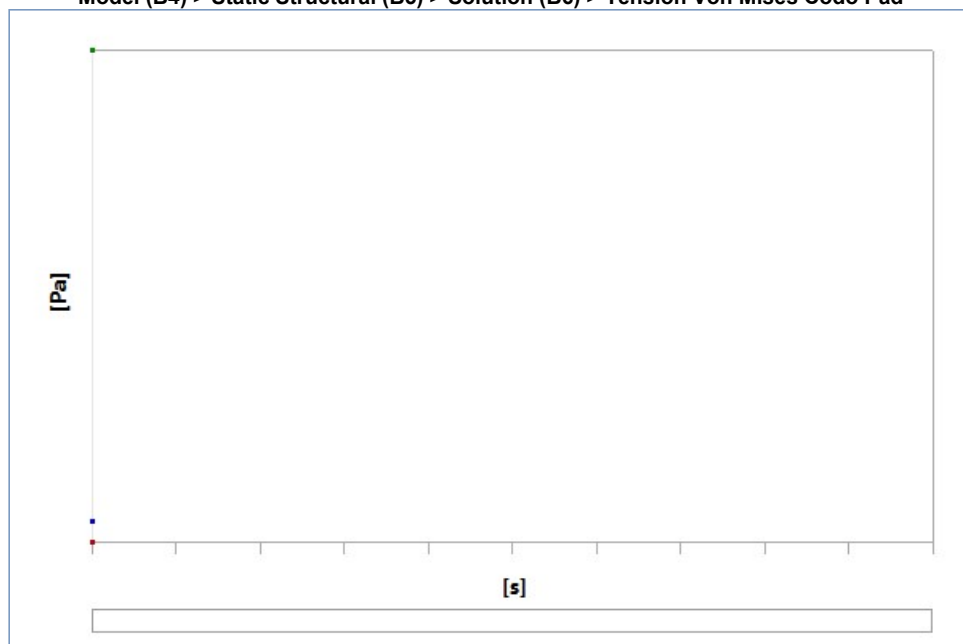


TABLE 60
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Tension Von Mises Codo Pad

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]	Average [Pa]
1,	274,76	1,2943e+006	53376

FIGURE 10
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Tension Von Mises Pad

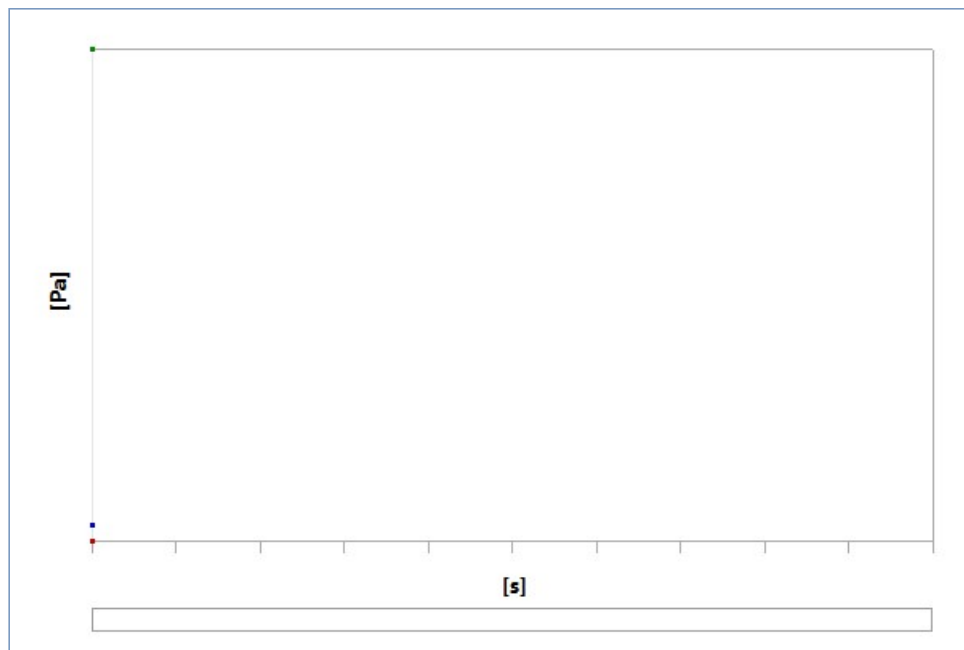


TABLE 61
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Tension Von Mises Pad

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]	Average [Pa]
1,	38,388	1,8494e+005	5769,3

Material Data

Traviesas

TABLE 62
Traviesas > Constants

Density	2300, kg m ⁻³
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	1,4e-005 C ⁻¹
Specific Heat Constant Pressure	780, J kg ⁻¹ C ⁻¹
Isotropic Thermal Conductivity	0,72 W m ⁻¹ C ⁻¹

TABLE 63
Traviesas > Color

Red	Green	Blue
180,	173,	167,

TABLE 64
Traviesas > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa
4,1e+007

TABLE 65
Traviesas > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa
0,

TABLE 66
Traviesas > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
0,

TABLE 67
Traviesas > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
5,e+006

TABLE 68
Traviesas > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Zero-Thermal-Strain Reference Temperature C
22,

TABLE 69
Traviesas > Isotropic Elasticity

Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa	Temperature C
3,e+010	0,18	1,5625e+010	1,2712e+010	

Pad

TABLE 70
Pad > Constants

Density	850, kg m ⁻³
---------	-------------------------

TABLE 71
Pad > Color

Red	Green	Blue
235,	222,	222,

TABLE 72
Pad > Isotropic Elasticity

Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa	Temperature C
1,e+008	0,49	1,6667e+009	3,3557e+007	

Codo-Pad

TABLE 73
Codo-Pad > Constants

Density	1360, kg m ⁻³
---------	--------------------------

TABLE 74
Codo-Pad > Color

Red	Green	Blue
182,	229,	228,

TABLE 75
Codo-Pad > Isotropic Elasticity

Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa	Temperature C
5,2e+009	0,34	5,4167e+009	1,9403e+009	

Rail y Tirafondos

TABLE 76
Rail y Tirafondos > Constants

Density	7850, kg m ⁻³
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	1,2e-005 C ⁻¹
Specific Heat Constant Pressure	434, J kg ⁻¹ C ⁻¹
Isotropic Thermal Conductivity	60,5 W m ⁻¹ C ⁻¹
Isotropic Resistivity	1,7e-007 ohm m

TABLE 77
Rail y Tirafondos > Color

Red	Green	Blue
132,	139,	179,

TABLE 78
Rail y Tirafondos > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa
0,

TABLE 79
Rail y Tirafondos > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa
2,5e+008

TABLE 80
Rail y Tirafondos > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
2,5e+008

TABLE 81
Rail y Tirafondos > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
4,6e+008

TABLE 82
Rail y Tirafondos > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Zero-Thermal-Strain Reference Temperature C
22,

TABLE 83
Rail y Tirafondos > S-N Curve

Alternating Stress Pa	Cycles	Mean Stress Pa
3,999e+009	10,	0,
2,827e+009	20,	0,
1,896e+009	50,	0,
1,413e+009	100,	0,
1,069e+009	200,	0,
4,41e+008	2000,	0,
2,62e+008	10000	0,
2,14e+008	20000	0,
1,38e+008	1,e+005	0,
1,14e+008	2,e+005	0,
8,62e+007	1,e+006	0,

TABLE 84
Rail y Tirafondos > Strain-Life Parameters

Strength Coefficient Pa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient Pa	Cyclic Strain Hardening Exponent
9,2e+008	-0,106	0,213	-0,47	1,e+009	0,2

TABLE 85
Rail y Tirafondos > Isotropic Elasticity

Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa	Temperature C
2,e+011	0,3	1,6667e+011	7,6923e+010	

TABLE 86
Rail y Tirafondos > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
10000

Clip

TABLE 87
Clip > Constants

Density
7800, kg m ⁻³

TABLE 88
Clip > Color

Red	Green	Blue
170,	170,	170,

TABLE 89
Clip > Isotropic Elasticity

Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa	Temperature C
1,8e+011	0,3	1,5e+011	6,9231e+010	

Vainas

TABLE 90
Vainas > Constants

Density	950, kg m ⁻³
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	2,3e-004 C ⁻¹
Specific Heat Constant Pressure	2300, J kg ⁻¹ C ⁻¹
Isotropic Thermal Conductivity	0,28 W m ⁻¹ C ⁻¹

TABLE 91
Vainas > Color

Red	Green	Blue
130,	154,	176,

TABLE 92
Vainas > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa
0,

TABLE 93

Vainas > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa
0,

TABLE 94**Vainas > Tensile Yield Strength**

Tensile Yield Strength Pa
2,5e+007

TABLE 95**Vainas > Tensile Ultimate Strength**

Tensile Ultimate Strength Pa
3,3e+007

TABLE 96**Vainas > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion**

Zero-Thermal-Strain Reference Temperature C
22,

TABLE 97**Vainas > Isotropic Elasticity**

Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa	Temperature C
1,1e+009	0,42	2,2917e+009	3,8732e+008	

Subbalasto**TABLE 98****Subbalasto > Constants**

Density
1600, kg m ⁻³

TABLE 99**Subbalasto > Color**

Red	Green	Blue
109,	157,	209,

TABLE 100**Subbalasto > Isotropic Elasticity**

Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa	Temperature C
5,e+008	0,25	3,3333e+008	2,e+008	

Balasto**TABLE 101****Balasto > Constants**

Density
1800, kg m ⁻³

TABLE 102**Balasto > Color**

Red	Green	Blue
130,	181,	143,

TABLE 103**Balasto > Isotropic Elasticity**

Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa	Temperature C
1,7e+008	0,3	1,4167e+008	6,5385e+007	

